

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник статей
XVII Международной научно-технической конференции

25 ноября – 29 ноября 2024 г.

Томск 2024

УДК 621.002(063)
ББК 34.4л0
С56

С56 **Современные проблемы машиностроения** : сборник статей XVII Международной научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 620 с.

Сборник содержит статьи XVII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». Конференция работала по секциям: конструирование, расчет и надежность машин; электромеханика и мехатроника; современные производственные технологии; материаловедение и нанотехнологии в машиностроении; промышленная безопасность; современный промышленный дизайн; наземно-транспортные машины и комплексы; школьная секция.

Предназначен для специалистов в области материаловедения, сварки, машиностроения, а также для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.002(063)
ББК 34.4л0

Редакционная коллегия

А.И. Сечин, доктор технических наук, профессор ТПУ;
М.С. Кухта, доктор философских наук, профессор ТПУ;
Е.Н. Пашков, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
А.П. Соколов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
В.Н. Козлов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
Е.А. Ефременков, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.Н. Кладиев, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.В. Ляпушкин, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
К.А. Колесникова, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
С.Н. Сорокова, кандидат физико-математических наук, доцент ТПУ;
В.А. Аметов, доктор технических наук, профессор ТГАСУ;
М.Ю. Попов, кандидат технических наук, доцент ТГАСУ;
П.В. Исаенко, кандидат технических наук, доцент ТГАСУ;
И.И. Медведев, директор АНО ДО ДТ «Кванториум»;
Т.Г. Костюченко, кандидат технических наук, доцент АНО ДО ДТ «Кванториум»;
М.А. Джасем, кандидат технических наук, старший преподаватель ТПУ;
М.С. Черемискина, старший преподаватель ТПУ;
А.М. Богдан, эксперт ТПУ;
Т.В. Пегушина, инженер ТПУ.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН	19
ТЕХНОЛОГИЯ CAD В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ Мэн Шиюй, Цзинь Чжи	20
АРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ Шампиева А.Т.	22
ПЛАНЕТАРНЫЕ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ Чавров Е.С.	25
КОНСТРУИРОВАНИЕ СБОРНЫХ И СКЛАДНЫХ ЛЕСТНИЦ Устюгов М.В.	27
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭЙЛЕРА И CFD-ТЕХНОЛОГИЙ Конюшков Е.И.	30
ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ Крджаян А.В.	32
К ПРОБЛЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО САТЕЛЛИТАМ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ Максимов И.В., Жуков И.А.	35
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НАДЕЖНОСТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЕ Ли Синь, Гуань Юньжо	37
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Ли Шуцзя, Пэй Цзясинь	39
РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ОСНОВЕ Авад П.А., Исаев Ю.Н.	41
РАСЧЕТ НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН С НЕКРУГЛЫМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ Базаров Б.И., Ивкина О.П.	44
ОБЗОР МЕТОДИК ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЛАНЕТАРНО-РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН Ивкина О.П., Базаров Б.И.	46
ВЛИЯНИЕ ТИПА ПЛАСТИКА НА ПРОЧНОСТНЫЕ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ Дороганов Д.В.	48
АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ САТЕЛЛИТАМИ В ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ Зайцева А.В.	51

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РВС С ДЕФЕКТОМ ТИПА «НЕПРОВАР» УТОРНОГО СОЕДИНЕНИЯ Темный Н.Д.	54
АНАЛИЗ САД-СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МИРЕ Фань Синьюэ	57
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 3D-ПРИНТЕРЕ Спиненко С.М.	59
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА Алеев Д.С.	61
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЯТИОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК БЕЗКОНСОЛЬНОГО ТИПА Андропова А., Братченко Т.С, Крауиньш Д.П.	63
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ – СТУПЕНЧАТЫЙ ВАЛ Анисимов Н.А., Черемискина М.С.	67
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ В РЕВЕРСИНЖИНИРИНГЕ Будаев В.Е.	69
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАКРЫЛКОВ Воробьев Д.И.	71
ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ Гвоздев М.В.	73
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПАКОВОЧНОГО АВТОМАТА Гуров И.А.	75
ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА КПД ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ Гынгазов В.Н., Черемискина М.С.	77
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ Зыков О.Д.	79
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ-РЕФРИЖЕРАТОРА Казаков К.С.	81
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС Краснослободцев Т.В.	83
ПАГУБНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФЕКТА НА МЕХАНИЗМЫ МЕТОДЫ БОРЬБЫ Лановский Н.А.	86
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БЕССЕПАРАТОРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ Микаелян А.Т., Трофимов Н.А., Пашков Е.Н.	88
РАСЧЁТ ЁМКОСТИ ШАРИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛЯТОРА Недошивин В.В., Зиякаев Г.Р.	90

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА БАЗЕ ДИПЛОСКОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ	
Пиунов А.С.	92
СРАВНЕНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА И СТАНОВСКОГО	
Пугин О.В., Пашков Е.Н.	94
КОМПОНОВКА МАЛОГАБАРИТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА	
Рузанова А.Г., Крауиньш Д.П.	98
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА СИЛЫ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ДВУХПОЛЮСНОЙ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ	
Русин А.А.	101
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕЗЬБЫ, В САД-СИСТЕМАХ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ	
Сенчило В.П.	103
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВХОДНОГО ВАЛА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА	
Сильнягин А.Н., Черемискина М.С.	105
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КРИВОШИПНО-КОЛЕННОГО ПРЕССА	
Смирнов И.П.	107
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ	
Спиридонов А.В.	109
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ «ПРЕССА-АВТОМАТА»	
Черченко В.К.	111
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРНИ МЕТОДОМ ОБМЕРА	
Эшматов А.К.	113
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО СТАНКА С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Масловский А.А., Крауиньш Д.П.	115
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
Бахытханова А.	117
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ	
Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф.	119
ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА	
Каличкин К.К.	121
РАСЧЁТ РЕДУКТОРА РОБОТА ГУМАНОИДА	
Каличкин К.К.	124
САПР И КАК ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	
Казанцев В.А., Казанцева О.А., Сонвальд К.Я.	128

ОДНОМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ Лаубган К.В., Гаврилин А.Н.	131
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ–ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОРОШКОВЫХ СУСПЕНЗИЙ Леонтьев Н.А., Букин А.А., Гордеев Ю.И.	134
НАИБОЛЕЕ ИЗНАШИВАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ Пищальников Я.И.	137
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ Сидоренко А.А., Пустовых И.В., Семенов Г.В.	139
МАГНИТНЫЕ ОПОРЫ Комлягин К.Д.	140
ПОДБОРЩИК ПРОСОПЫ: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ Кривошеев Д.Ю.	142
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ УКЛАДКИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ Рожков П.Д.	145
УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ Окороков Е.А.	147
ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ Стариков А.И., Сызранцев В.Н.	149
СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА	156
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАТРОННОГО УДАРНОГО СТЕНДА Попов А.Н., Полищук М.Н., Решетов Д.В.	157
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ДЕМПФЕР НА ОСНОВЕ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ Коптев И.К., Ермаков Д.В., Дерусова Д.А.	159
РАСЧЕТ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАСТРАИВАЕМОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА Кулеш Ю.О., Беляускене Е.А., Боловин Е.В.	162
РАЗРАБОТКА ПИД-КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА Авад П.А., Мамонова Т.Е.	165
АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ НА СТЫКОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ БПЛА	169
Соболев В.С., Кустов А.С., Ковалевский Д.О.	169

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА Попрядухин В.С., Курашкин С.Ф., Ковалев А. В., Постникова М.В., Борохов И.В.	172
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА Попрядухин В.С., Кушлык Р.В., Минаева Т.С.	174
ИЗОЛЯЦИЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕЗГАЛОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ Душкин Ю.В., М.Д. Жульмина, Леонов А.П.	176
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ Журиков Р.Н., Невмывака А.Н.	178
ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА Филипас А.А., Пластунова С.Н.	180
СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	183
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ МНОГОРАННЫМИ РЕЗЦАМИ Гопанцов Д.Н., Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И., Колбасина Н.А.	184
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 316L Рюмин Е.Е., Криницын М.Г., Торопков Н.Е., Лернер М.И.	187
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ Синюков М.С.	189
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА Сергеева В.М., Гильвитинов М.О.	191
ОПТИМИЗАЦИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОКИ МАТЕРИАЛА НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ Морев Д.А., Ефременков Е.А.	193
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ ФИНИШНОЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ Каренина Р.А.	196
МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКОЙ Каргин А.М.	198
ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ Андреев Д.И., Муравьев С.В.	202

ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «MES» В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ Малеев Л.А., Шаповалов Д.С.	205
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ФРЕЗАМИ-РОУТЕРАМИ Салатов К.О., Вакулин М.С., Гордеев Ю.И., Бинчуров А.С.	207
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОСВЕННОЙ ДУГОЙ Безруких А.А.	210
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ Кокорин И.Н.	212
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА Рагиня Д.В., Бинчуров А.С., Ясинский В.Б.	214
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФАСКЕ ИЗНОСА РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	216
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625 МЕТОДОМ WAAM Бельчиков И.А., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	221
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ВНЕОСЕВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ПЕЧАТИ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Бердников Н.С., Шкитов Д.А.	223
ПЕЧАТЬ МЯСА В КОСМОСЕ Будницкая А.И.	227
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ИНТЕГРАЦИИ АККУМУЛЯТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ Вагнер А.М.	229
МАТЕРИАЛЫ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ: ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ Шкитов Д.А., Волков М.И.	231
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Груздев А.А.	234
НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ Дин Ц., Козлов В.Н., Семёнов А.Р.	236
ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЗКИ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА НА НДС РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ Дин Ц., Козлов В.Н., Цао С.	238

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВУЗЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КВИЗОВ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ Ломовская С.А., Самолюк Н.Г.....	242
3D-ПЕЧАТЬ КАК СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БЕЗВОЗДУШНОГО БАСКЕТБОЛЬНОГО МЯЧА Ураймахунов Р.Р.	245
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГРАВИТАЦИИ КАК ПРОБЛЕМА 3D-ПЕЧАТИ Ураймахунов Р.Р.	248
ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ Протопопова Е.Ю., Лысак И.А.	251
КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМЕННОГО ПЛАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $MgO-AL_2O_3-SiO_2$ Шеховцов В.В., Улмасов А.Б., Семеновых М.А.	253
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТРЕНДЫ И ВЫЗОВЫ Цзя Чуанчуан.....	255
МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРЕХФАЗНОГО ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА Поваляев П.В., Шляхов Т.С., Корытов Д.А, Власов А.В.	257
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ЧИСТОГО ТИТАНА Ti_1 , ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ Ци М., Чжан Ц., Клименов В.А., Козлов В.Н., Чинахов Д.А., Чернухин Р.В., Майорова Е.И.	259
РАЗРАБОТКА АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Байдуров М.А. Щербатов Г.Я.....	263
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА (ОБЗОР) Ван Цзымин.....	265
ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ В МЕХАНИЗМАХ ДРЕВНЕГО КИТАЯ Лю Сяоцзе, Лю Линьи.....	267
МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДРЕВНЕМ КИТАЕ Чжоу Юйцзе; Дун Хуэйюй; Ван Ижу.....	269
МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ ВЧЕРА – СЕГОДНЯ – ЗАВТРА (ОБЗОР) У Вэньфэн, Цао Сяохуэй.....	271
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «БАРАБАН (ПЕРЕДНЯЯ ЧАСТЬ)» Цуй Шуан.....	273
РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ И ДРУГИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ЦЕЛЫХ УЗЛОВ.....	275
Шейерман Ю.Д.....	275

СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	277
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК Al-Fe ₂ O ₃ -Fe и Ti-Fe ₂ O ₃ -Fe-C Сафронова В.С., Князева А.Г., Коростелева Е.Н.....	278
ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Жукова Т.В.	281
ВЛИЯНИЕ ПРОБОПОДГОТОВКИ НА СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА Лиханосова У.А., Станько А.Ю.....	283
АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВА FeAlCoNiCrC Дмитриенко А.Н., Юаньсюнь Лю, Ковалевская Ж.Г.	285
ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ Васильева Ю.З., Некля Ю.А.	287
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ФИНИШКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ Александрова Е.П., Наплавкова К.С.....	289
ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА AA2055 Юзбекова Д.Ю., Зуйко И.С.	291
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ Филиппов Д.М., Колесникова К.А.	293
АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ СИСТЕМЫ Cu-Al-C-O Владимирова Ю.О., Плотников В.В., Шалунов Е.П.	295
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НАПЛАВЛЯЕМОМ МАТЕРИАЛЕ И ПОДЛОЖКЕ Савлук А.А., Савлук Д.А., Лысак Г.В., Лысак И.А.	298
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ Савлук Д.А., Савлук А.А., Лысак Г.В., Лысак И.А.	300
ЗАЩИТА СТЕКОЛ ИЛЛЮМИНАТОРОВ В КОСМОСЕ Шемелева Д.И.	302
МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ ПФА-КОМПОЗИТОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОГО РЕНИЯ Шэнь Ю., Буслевич Д.Г., Панин С.В.....	305

АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДЕТАЛЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЦИКЛИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ Расстальная Д.С.....	308
РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА Чжун Х., Шевченко И.Н., Лямина Г.В.....	310
РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА Афум Э.Т., Шевченко И.Н., Лямина Г.В.	313
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ТРУБЫ Юршев В.И., Юршев И.В., Кириленко А.С.	316
ВЛИЯНИЕ НИТРАТА ЕВРОПИЯ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ ОКСИД ИТТИРЯ – ОКСИД АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ Деулина Д.Е., Пайгин В.Д., Шевченко И.Н., Илела А.Э.	319
ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КОНСОЛИДИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ЦИРКОНИЯ Кузьменко Е.Д., Матренин С.В.	321
ОПТИЧЕСКОЕ ПРОПУСКАНИЕ КЕРАМИКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ КОММЕРЧЕСКОГО НАНОПОРОШКА $MgAl_2O_4$ С ДОБАВКОЙ LiF Лян Линьсинь, Хуан Фули, Деулина Д.Е., Шевченко И.Н., Пайгин В.Д.	323
ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТОЧЕЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА ДИСЛОКАЦИОННОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ВИНТОВОЙ ДИСЛОКАЦИИ В ДИССИПАТИВНОЙ СРЕДЕ Дежин В.В.	325
МЕТОДИКА АНАЛИЗА КОЛЛОИДНЫХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ Лю Я, Станько А.Ю.	328
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА ПРОЦЕСС МИКРОВОЛНОВОГО СПЕКАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА Женжурист И.А.	331
О ТЕКСТУРЕ СПЛАВА AA2055 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ЗАКАЛКИ Зуйко И.С., Юзбекова Д.Ю., Миронов С.Ю.	333
ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗИФИЦИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ.....	335
Мухаметшина Е.С., Малышев А.В.	335
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ОБРАЗЦЕ ИНКОНЕЛЬ 625, ПОЛУЧЕННЫМ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЕВАМ Овчаренко В.А., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.	338
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШНИПЕЛИ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ.....	340
Лю Синьбой, Илела А.Э.	340

THE EFFECT OF ZIRCONIUM TUNGSTATE (ZT) PARTICLES ON THE STRUCTURE AND TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF POLYETHERIMIDE/POLYTETRAFLUOROETHYLENE MATRIX COMPOSITES He C.J., Buslovich D.G., Tarasov S.Yu., Panin. S.V.....	342
СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ Фу Цзиньюй, Илела А.Э.....	344
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ Ражабов Х., Колесникова К.А.....	346
МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМ $V_{ам}$ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ Сорока М.В., Колесникова К.А.	349
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДЛИННОМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ Марьин С.С.....	351
АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ПРЯМОХОДНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОВОЙ РАЗРАБОТКИ Зонтиков Е.В.....	353
ИЗУЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТЕКОЛ ПРОТИВ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ Турсунханова Р.Б., Сергеев В.П.	355
АППАРАТУРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЛАСТИКОВ Букин А.А., Тимошев П.В., Леонтьев Н.А, Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И.....	357
СЕКЦИЯ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	360
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Казинцев Р.В.....	361
К УТОЧНЕНИЮ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УЯЗВИМОСТИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТЭК Соловьев О.И., Мосолов А.С., Акинин Н.И.....	363
ЗАЩИТА ОПЕРАТОРА ОТ ВИБРАЦИИ НА ОБОРУДОВАНИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СПОСОБАХ СВАРКИ Дында Е.П.	365
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАТОРА ОБОРУДОВАНИЯ – ВАКУУМНАЯ КАМЕРА Ившин В.С.	367
СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... Чжао Вэнья, Чжан Ифань, Сорокова С.Н.	369

ЗАЩИТА ОТ РЕНГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОНОЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ Киппес К.Д.....	371
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ОТ 3D-ПЕЧАТИ Кирьянов А.А.	373
РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОГРЕВА И ОБЪЕМА ВЫДЕЛЯЕМОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ИЗ ЧАСТИЦЫ ТОПЛИВА Сечин А.И., Мезенцева И.Л. Сечин А.А.....	375
КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ Пилипец Н.В., Матвеев А.П., Штенцов Д.Г., Сечин А.И.	379
РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРИБОРА СОЗДАНИЯ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ОБЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ Сечин А.И., Мезенцева И.Л., Сечин А.А.,.....	382
ПОДГОТОВКА ОГНЕТУШАЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ВОДОГАЗОВОЙ СМЕСИ (ЭМУЛЬСИИ) Пилипец Н.В., Матвеев А.П., Штенцов Д.Г., Сечин А.И.	386
СЕКЦИЯ 6. СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН.....	389
СОВРЕМЕННЫЕ РЕВОЛЬВЕРНЫЕ ГОЛОВКИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ Дыров Н., Кухта М.С.	390
ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ Казак А.К., Кухта М.С.	393
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДИЗАЙН РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА Каличкин К.К.	396
АНТИВИБРАЦИОННАЯ ДЕРЖАВКА Нурмукаев К.Ж., Кухта М.С.	399
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ Сидоренко А.А., Кухта М.С.....	404
КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЙ ПЯТИКООРДИНАТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА Суханов М.А., Кухта М.С.	406
АНТИДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ Ергин И.А.	412
ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ Милицин М.В.	414
РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ГАЙДА ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН» Семенюта К.В.	416
ШВЕЙЦАРСКИЙ СТИЛЬ В ВЕБ-ДИЗАЙНЕ Алферьева В.Е.	419
MOBILE FIRST: НОВЫЙ СТАНДАРТ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-САЙТОВ Алферьева В.Е.	422

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ Бердюгин Д.О., Соколов А.П.	425
Значимость ВЕБ-ДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ Прокопчук Д.Д.	428
УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ Карелин С.Ю., Соколов А.П.	431
ЭРГНОМИЧЕСКИЕ И ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПСИХИАТРИЧЕСКИХ БОЛЬНИЦ Будянская Е.А., Кухта М.С.	434
СТИЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВ РУССКОЙ КУЛЬТУРЫ КАК СПОСОБ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ ГЛОКАЛИЗАЦИИ Бурнышева Е.С., Давыдова Е.М.	438
КОНСТРУКЦИЯ И ДИЗАЙН ВЕНСКОГО СИФОНА Вишнякова Н.Ф., Кухта М.С.	441
НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ Гарифуллин Ф.	444
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ И СКЛАДНОГО МЕХАНИЗМА ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СУМКИ Годунова А.Е.	447
ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ГАЙДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ Ершова А.А.	449
ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ФОТОГРАММЕТРИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Ануфриев М.Д.	451
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНВЕЙЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Кривошеев Д.Ю., Кухта М.С.	455
ТЕХНОЛОГИЯ ПРЯМОГО ПРИВОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВРАЩАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ Кузнецов Е.Ф., Кухта М.С.	458
ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЗЕЛЕННОГО ДИЗАЙНА В МАШИНОСТРОЕНИИ Ли Дэсян, Цзинь Чжи.	462
РАЗВИВАЮЩИЕ ИГРУШКИ Матусев А.С., Соколов А.П.	464
ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ СЦЕНАРИЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ Нестеров Т.М., Васильева М.О.	466
АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ЭСТЕТИКИ И ФУНКЦИИ В ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЬНОГО БИОНИЧЕСКОГО ОРТЕЗА РУКИ Полех Е.С.	469

ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА Рузанова А.Г., Кухта М.С.....	472
АРХИТЕКТУРНАЯ ПОДСВЕТКА: ВАРИАНТЫ КРЕПЛЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ К ФАСАДАМ Симанович Е.Е., Кухта М.С.	475
МОДЕЛИРОВАНИЕ – ПОМОЩЬ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОТОВОГО ПРОДУКТА Старобахина В.Г.....	478
ЭРГОНОМИКА В СМАРТФОНЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДНОЙ РУКОЙ Трушляков В.А.	480
МОДУЛЬНЫЙ НОЧНИК СО СВЕТОВЫВОДЯЩЕЙ ПАНЕЛЬЮ Турбина Е.А.....	482
ВЫЯВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АППАРАТУ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ Турбина Е.А., Вехтер Е.В., Туранов С.Б.	484
СЕКЦИЯ 7. НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ	487
ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	488
ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА ГРУБОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А.	490
СЕДИМЕНТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ Мусатова Ю.С., Савкович А.А., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	493
СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	496
СОСТОЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	499
К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ТОМСКОЙ АГЛОМИРАЦИИ Кобылянский Р.А., Власов Ю.А.	502
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	505
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	508
ТИПЫ ФИЛЬТРОВ И СПОСОБЫ ИХ ВКЛЮЧЕНИЯ В ТОПЛИВНУЮ СИСТЕМУ ДВИГАТЕЛЕЙ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	511
ОЧИСТКА ТОПЛИВА И МАСЛА В СИЛОВЫХ ПОЛЯХ Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.	514

ПРИБОР ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА	
Алушкин Т.Е., Зубрицкий А.В., Спирин Е.Н., Полозова С.А.	516
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ	
Барков Ю.М., Власов Ю.А., Фукс В.Р.	518
АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	
Зубрицкий А.В., Федяев В.О., Ахмадышин Д.С.	521
АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ОТКАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ	
Зубрицкий А.В., Алушкин Т.Е., Абдуллаева З.А., Сапьян А.В., Майоров С.М.	525
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И САМОХОДНЫХ МАШИН ПО ПАРАМЕТРАМ КАРТЕРНЫХ ГАЗОВ	
Власов Ю.А., Спирин Е.Н., Алушкин Т.Е.	528
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ANYLOGIC	
Кобылянский Р.А., Спирин Е.Н., Алушкин Т.Е.	530
ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ ЮНЫЙ ТЕХНИК	532
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ	
Журавлев М.Д.	533
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ ЧИСТКИ ТРУБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	
Григорьев К.А., Каманин М.Р.	536
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ИННОВАЦИИ 2024 – ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ	
Минайлов К.В.	538
ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕЙМЕРСКИЙ УГОЛОК	
Тонкоглаз Я.А.	540
ДИЗАЙН-ПРОЕКТ РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «КАЛЕЙДОСКОП»	
Балабан А. Колмаков А.	543
ЭЛЕКТРОНИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОСМИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРАХ	
Киселев Л.Н., Белоусова А.А., Аверьянов М.И., Бывшенко А.В.	546
РАЗРАБОТКА ВЫПУСКАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»	
Белоусова А.А., Аверьянов М.И., Киселев Л.Н.	548
МЕХАНИЗМ ОТКРЫТИЯ КРЫШКИ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»	
Аверьянов М.И., Белоусова А.А., Киселев А.Н.	550

РОБОТ-УПАКОВЩИК ПОДАРКОВ Лабунин В.Е., Дубинин Р.Е.....	552
ОБЕЗЬЯНА-ЭКСКУРСОВОД Буртовой К.Е., Рачис А.А., Рулевский Е.В.....	553
РОБОТ ДЛЯ СБОРА БАХИЛ Ткачев А.А.	555
КВЕСТ-ЭКСКУРСИЯ ПО ГИМНАЗИИ № 6 Цапко А.Ю.....	557
РОБОТ-МЕРЧАНДАЙЗЕР Шумилевич И.Ю.	559
УПРАВЛЯЕМЫЙ СВЕТОВОЙ ПРИБОР НА ОСНОВЕ СВЕТОПРОВОДЯЩИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ Бричков Г.А.	560
ПРОБЛЕМА ЗАЖАТИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ Харитонов А.В.	562
ПРИЛОЖЕНИЕ «РАЗВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ» Ананин А.И., Федин А.Д., Бударев К.А., Чащин В.М.	564
ПРИЛОЖЕНИЕ-ИГРА «ТОГДА И СЕЙЧАС» Бронников И.П., Бронников А.П., Плашевский М.В.	566
ПРИЛОЖЕНИЕ «СИМУЛЯТОР МАШИНИСТА VR» Верлинский М.В., Тюрин Н.О., Святный М.А.....	568
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОТЛАДОЧНЫХ И ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ «ROBOSET» Гужихин И.А.	570
СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА МХОМ Вершинский А.П., Саломатов И.В., Григорьев К.А.	572
ДЕТЕКТОР ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА Виншель В.С., Ноженко К.Р., Хворостов Е.Д., Шмидт Г.Е.....	574
ПРИЛОЖЕНИЕ «ДРОН-КОНСТРУКТОР» Гончаров М.В., Попков М.А., Вялов А.М.	577
УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ «NOTHING WATER» Демин Д.А.....	579
СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ТОМСКА Ефремов К.Б., Лусникова А., Костылева М., Лусников Т. Шаклеина А., Торопов Е., Семакина М.	584
ДРОНОХОД Ильченко Н.А., Ромашов С.О.	586
РАЗРАБОТКА БЫТОВОГО МАССАЖЕРА С ФУНКЦИЕЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ Кравченко М.А.	588

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ VR-КЛАСС «ПОЛЮС»	
Пилипенко Н.М. Левко С.Р., Шеин А.А.....	590
ПРИЛОЖЕНИЕ ИГРА «ПРИПЯТСТВИЕ НА ЛЕТУ»	
Коваленко С.М., Соколов С.Я., Никитков А.А.....	592
ВИДЕОИГРА НА UNITY «МОВУ: THE LEGEND»	
Слюта Е.А.	594
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ДРОН НА ВОДНОЙ ПОДУШКЕ	
Пискунов М.С.....	596
ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЙ ДРОН	
Цуканов В.Н., Родин Р.А.....	598
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДА	
Дорохов М.Д.....	601
МИНИМОБИЛЬ	
Козлов Е.Е., Захаров Д.В.....	603
АВТОНОМНАЯ ДОСТАВКА ГРУЗА С ПОМОЩЬЮ ДРОНА	
Шалдо Н.....	605
РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	
Михлеева А.М.	607
АВТОНОМНЫЙ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ	
Шуплецов М.А.	609
АЛГОРИТМ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ИНСУЛЬТЕ. СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
Пантюхина Л.Ю., Остердак А.А., Богдан В.С.	611
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПЛАТФОРМА «ДЕМИУРГ»	
Носовец В.А.....	613
ПРИЛОЖЕНИЕ «НА ВСЮ НОЧЬ В МУЗЕЕ»	
Юдин Д.Д., Болтовский А.В.	615
ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛУНОХОДА	
Поляков. Т.Л.,.....	616

СЕКЦИЯ 1
КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

ТЕХНОЛОГИЯ CAD В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Мэн Шиюй¹, Цзинь Чжи²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Шэньянский политехнический университет, Международный инженерный институт,
заведующий кафедрой,
e-mail: azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: Оптимизация механической надежности является важной частью разработки механических изделий, и ее эффект оптимизации будет проходить через весь жизненный цикл проектирования, производства, обработки и изготовления механических изделий. Применение технологии CAD в процессе проектирования оптимизации надежности механических изделий позволяет объединить информационные технологии с проектированием изделий, реализовать обмен данными, создать платформу обмена информацией, повысить эффективность проектирования механических изделий и эффективно обеспечить качество изделий.

Ключевые слова: механическая надежность; технология CAD; SolidWorks; проектирование оптимизации

Как передовая программная технология, технология CAD все шире используется в области механического проектирования. Применение технологии CAD не только повышает эффективность и качество процесса механического проектирования, но и значительно улучшает традиционные методы проектирования. В частности, модуль анализа методом конечных элементов в технологии CAD играет жизненно важную роль в механической технологии CAD, он может не только помочь инженерам анализировать и прогнозировать характеристики конструкции, но и оптимизировать проектирование, проверить надежность проектирования, уменьшить потребность в физических испытаниях и повысить точность проектирования.

1. Проектирование оптимизации механической надежности

Механическая надежность, как основной элемент современной деятельности по обработке и производству механических изделий, обычно можно разделить на структурную надежность и надежность механизма. Конструктивная надежность в основном учитывает прочность механической конструкции, а также усталостное разрушение, разрушение износа и разрушение излома, вызванные нагрузкой. Надежность механизма в основном учитывает отказ механизма, вызванный кинематическими проблемами механизма в процессе работы. Следовательно, оптимизация механической надежности является важной частью разработки механических изделий, и ее эффект оптимизации будет проходить через весь жизненный цикл проектирования, производства, обработки и изготовления механических изделий. Проектирование оптимизации надежности механических изделий в основном делится на этап проектирования оптимизации надежности, этап производства оптимизации надежности и этап послепродажного обслуживания оптимизации надежности [1].

2. Технология CAD

В 1960-х годах технология CAD использовалась для содействия проектированию и черчению, помогая инженерам превращать идеи в визуальные проектные чертежи. С развитием компьютерных технологий программное обеспечение CAD стало мощным инструментом, который может обеспечивать такие функции, как трехмерное моделирование, имитационный анализ и управление данными и т. д. Развитие технологии CAD делает процесс механического производства более эффективным и точным, что значительно повышает качество и эффективность проектирования и изготовления изделий [2].

В процессе проектирования механической надежности дизайнер может использовать трехмерное программное обеспечение CAD для моделирования изделия, затем использовать технологию CAD для виртуальной сборки и анализа использования, в соответствии с результатами имитационного анализа, оптимизировать характеристики и структуру схемы проектирования изделия, а также ввести проектированный изделие в программное обеспечение конечных элементов для анализа оптимизации формы, анализа силы, анализа вибрации, анализа усталости, анализа теплорассеивания, анализа потока формы и т. д. до тех пор, пока не будет соответствовать проектным требованиям.

В традиционном проектировании оптимизации, чтобы обеспечить рациональность, научность и надежность проектирования изделий, большинство из них используют метод добавления коэффициента безопасности, который не только легко приводит к растрате ресурсов, но и не реализует оптимизацию проектирования изделий. Применение технологии CAD в процессе проектирования оптимизации механической надежности изделий позволяет объединить информационные технологии с проектированием изделий, реализовать обмен данными, создать платформу обмена информацией и повысить эффективность проектирования механических изделий, тем самым эффективно гарантируя качество изделий.

3. Технология CAD в проектировании оптимизации механической надежности

В технологии CAD интеграция анализа методом конечных элементов очень важна. Например, программное обеспечение SolidWorks является первой в мире трехмерной системой CAD, разработанной на основе Windows. Встроенный в программное обеспечение плагин анализа конечных элементов позволяет дизайнерам непосредственно создавать модели, анализировать структуру и оптимизировать проектирование в привычной среде CAD. Анализ напряжений методом конечных элементов с помощью модуля Simulation, входящего в программное обеспечение SolidWorks, не только устраняет ошибку анализа, вызванную потерей данных при импорте модели, но и в значительной степени сокращает цикл проектирования изделия, повышает эффективность проектирования дизайнеров, эффективно улучшает структуру изделия и повышает надежность проектирования изделия, эффективно отражает важную роль технологии CAD в проектировании оптимизации надежности механических изделий.

В заключение следует отметить, что в процессе проектирования оптимизации механической надежности, с помощью технологии CAD, дизайнеры могут создавать, модифицировать и оптимизировать проектирование цифровым способом в соответствии с мощными функциями трехмерного моделирования, моделирования движения, анализа методом конечных элементов и параметрического проектирования, предоставляемыми технологией CAD. Значительно повышает эффективность и точность проектирования механических изделий [2].

Список литературы

1. Тань Сяоцзюнь, Цзян Лэй. Исследование проектирования оптимизации надежности в механическом проектировании и производстве [J]. – Производство пресс-форм, 2023. – 7:116–118.
2. Юань Юньфань. Состояние применения и развития технологии CAD в современном машиностроении и проектировании [J]. – Горизонт науки и техники, 2024. – 14(13): 94–96.

АРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

*Шампиева А.Т.
НИ ТПУ, ИШПР, А4-20,
e-mail: shampiyeva@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена обзору металлокомпозитных баллонов высокого давления: разновидностям, свойствам, характеристикам, схемам армирования (методам намотки). Рассмотрены вопросы оптимизации конструкции баллона на основе результатов конечно-элементного моделирования.

Ключевые слова: металлокомпозитный баллон, тип баллона, метод намотки, схема армирования, лайнер, ровинг.

Abstract. The article is devoted to the review of high-pressure metal-composite vessels: varieties, properties, characteristics, reinforcement schemes (filament winding methods). The issues of vessel design optimization based on the results of finite element modeling are considered.

Keywords: metal-composite vessel, vessel type, filament winding method, reinforcement scheme, liner, roving.

Введение

Баллоны высокого давления широко используются в различных отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, автомобильная, энергетическая и химическая, где безопасное хранение и транспортировка жидкостей или газов под давлением имеет большое значение. Традиционно металлические материалы, такие как сталь и алюминий, были основными для баллонов высокого давления из-за их механических свойств и относительно низкой стоимости.

Баллоны под давлением можно разделить на четыре типа:

- тип 1 полностью изготовлены из металлов;
- тип 2 используют металлический лайнер с композитным армированием только по цилиндрической части баллона;
- тип 3 лайнер армирован полностью;
- тип 4 представляют собой композитные баллоны с неметаллическим лайнером (обычно полимерным) [1, 2].

Металлические баллоны высокого давления типа 1 имеют определенные недостатки, такие как большой вес, склонность к коррозии и ограниченный срок службы из-за усталости металла, поэтому все более широкое распространение получают композитные баллоны.

Композитные баллоны легче в сравнении со стальными баллонами и демонстрируют отличную коррозионную стойкость и высокие усталостные характеристики. Баллоны высокого давления типа 3 и типа 4 могут обладать меньшим весом (на 70 %) по сравнению с баллонами типа 1 [3].

Композитные баллоны высокого давления обычно изготавливаются с использованием метода непрерывной намотки. Метод непрерывной намотки получил широкое распространение в 80-х и 90-х годах XX века. Данный метод основывается на технологическом процессе, при котором непрерывные пропитанные смолой армирующие волокна, называемые ровингами, обматываются вокруг лайнера, образуя композитный материал на его поверхности. Ровингами обычно являются углеродное волокно, стекловолокно или их промежуточные вариации [4–6].

В зависимости от способа нанесения связующего на волокнистый армирующий материал различают мокрую и сухую намотку. В процессе мокрой намотки волокна пропитываются смолой и оборачиваются вокруг вращающейся оправки. Предварительно пропитанные жгуты волокон наматываются на лайнер в сухой или препреговой намотке. Мокрая намотка является более популярной и часто используется для изготовления композитных баллонов.

Мокрая намотка имеет несколько преимуществ перед сухой намоткой в том числе меньшие затраты на материалы и более короткие сроки изготовления изделий. Контроль объема волокна также лучше при мокрой намотке [5]. Выбор волокон и смолы [7] производится в зависимости от требований, предъявляемых к изделию. Широкое применение имеет углеродное волокно. Плотность и высокая прочность на усталость углеродного волокна обеспечивает более длительный срок службы баллона по сравнению с традиционными материалами. Усиленные углеродным волокном баллоны высокого давления типа 3 и 4 могут прослужить до 30 лет без необходимости замены, что вдвое дольше, чем баллоны типа 1 и 2.

В зависимости от типа укладки армирующего волокнистого материала в намотанном изделии различают следующие технологические схемы намотки [5]: прямая (окружная); спирально-винтовая (тангенциальная, кольцевая); спирально-перекрестная (спирально-продольная, спирально-поперечная); совмещенная спирально-кольцевая; продольно-поперечная, косослойная продольно-поперечная; планарная (полносная, орбитальная, плоскостная); тетрамотка; зональная. Прямую намотку можно назвать спирально-винтовой намоткой с большим углом, намотанной под углом 90° (обычно от 85° до 90°). В спиральной намотке значение угла лежит в диапазоне от 0° до менее 90° или от 5° до 85° . Волокна наматываются от полюса к полюсу в совмещенной спирально-кольцевой намотке; угол не является постоянным и зависит от длины оправки. Спиральная обмотка придает радиальную прочность конструкции, в то время как прямая обмотка удерживает кольцевые контуры, обеспечивает устойчивость на концах и участвует в несении осевых нагрузок. Спиральный вид намотки часто используется для изготовления композитных труб и баллонов высокого давления. До достижения желаемой толщины и прочности композита напряжение намотки, угол намотки и качество смолы волокна могут быть изменены в каждом слое армирования. В процессе намотки образуется некоторый рисунок, определяющий схему армирования. Такие рисунки (схемы армирования), в свою очередь, подразделяют на геодезические и негеодезические. Геодезический вид намотки устойчив и не скользит, поскольку ему не требуется внешняя сила, чтобы удержать нити от падения с поверхности лейнера. Негеодезический вид неустойчив, ему требуются силы трения, чтобы удержать нити от соскальзывания с поверхности лейнера. Вследствие этого коэффициент трения становится существенным фактором, поскольку он определяет набор траекторий намотки [5, 8–12]. Схема армирования определяет свойства готового изделия.

Большой угол обеспечивает большее сопротивление сжатию, а малый угол обеспечивает усиленное сопротивление растяжению. Для создания надежного изделия необходимо учитывать различные параметры процесса, их комбинированное воздействие и связанные с этим проблемы (сложность типа модели, переменная толщина, горловина и днище баллона) при проектировании и разработке схем армирования.

Экономические требования определяют актуальность вопросов оптимизации схем армирования для достижения массогабаритного совершенства, определения наилучших параметров конструкций существующих баллонов высокого давления. Оптимизацию баллона высокого давления для минимизации массы и расчета напряженно-деформированного состояния можно выполнить с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [13], что позволяет эффективно учесть ориентацию волокон, толщину волокнистого материала, последовательность укладки и количества слоев для различных материалов, таких как стекловолокно и углеродное волокно. Для расчета эффективных упругих характеристик композитов часто используют метод асимптотического осреднения, который в сочетании с методом конечных элементов позволяет вычислять характеристики композитов для любых структур армирования [14]. Существует множество методов многопараметрической оптимизации, которые рекомендуются для поиска оптимальных проектных параметров при разработке нового изделия (метод координатного спуска, спирального координатного спуска, метод Розенброка, поиск по симплексу, метод Хука Дживса с поиском по образцу и др.) [15]. Дальнейшее исследование предполагает численное моделирование за счет комбинирования методов МКЭ и раз-

личных методов оптимизации с учетом эффективных свойств волокнистого материала и достижение снижения массы и повышения допустимого давления.

Список литературы

1. Fryer D.M. et al. High pressure vessels. – Springer US, 1998. – С. 1–10.
2. Семенищев С.П., Килин П.Г. Достижения и перспективы развития в создании мобильных заправщиков природным газом // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 5 (53). – С. 6–9.
3. Гайсин А.А., Билалов Н.Р., Ихсанов Ю.А. Разработка установки для производства баллонов высокого давления для бытовых нужд и автомобильного транспорта // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 27. – С. 1165–1178.
4. Воробей В.В., Евстратов С.В. Новые направления в современной технологии намотки конструкций из композиционных материалов // Вестник Московского авиационного института. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 8–8.
5. Евстратов С.В. Разработка технологических процессов изготовления сверхлегких комбинированных металлокомпозитных баллонов давления: специальность 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евстратов Сергей Владимирович. – Москва, 2015. – 151 с.
6. Gemi L., Kara M., Avci A. Low velocity impact response of prestressed functionally graded hybrid pipes // Composites Part B: Engineering. – 2016. – Т. 106. – С. 154–163.
7. Зимин Д.Е., Блазнов А.Н. Физико-химические и реологические основы создания полимерных композиционных материалов для изготовления композитных баллонов на их основе // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 164–169.
8. Зенцов А.П., Лопарев С.В. Кинематические параметры намотки на цилиндрическую поверхность // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института. – 2017. – № 3. – С. 98–101.
9. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 144 с.
10. Миткевич А.Б., Протасов В.Д. Равновесные стеклопластиковые баллоны давления минимальной массы при негеодезической намотке // Механика полимеров. – 1975. – № 6. – С. 983–987.
11. Zu L., He Q.X., Shi J.P. Semi-geodesics-based dome design for filament wound composite pressure vessels // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Т. 275. – С. 1601–1604.
12. Zu L., Koussios S., Beukers A. Design of filament-wound domes based on continuum theory and non-geodesic roving trajectories // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2010. – Т. 41, № 9. – С. 1312–1320.
13. Склемина О.Ю., Татусь Н.А., Полилов А.Н. Конструирование и прочностной расчет композитных многополостных сосудов давления // XXXII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. – 2021. – С. 676–682.
14. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Сборщиков С.В. Конечно-элементное моделирование эффективных вязкоупругих свойств однонаправленных композиционных материалов // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – № 2 (2). – С. 28–48.
15. Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации // Информационные процессы. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 256–274.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Чавров Е.С.¹
¹НИ ТПУ, ИШНПТ, А3-20,
e-mail: esc12@tpu.ru

Циклоидальное зацепление известно с давних времен. Такое зацепление образуется путем профилирования зубьев по участкам циклоид: эпициклоид и гипоциклоид. Эпициклоида образует наружный циклоидальный профиль, а гипоциклоида внутренний циклоидальный профиль (рис. 1).

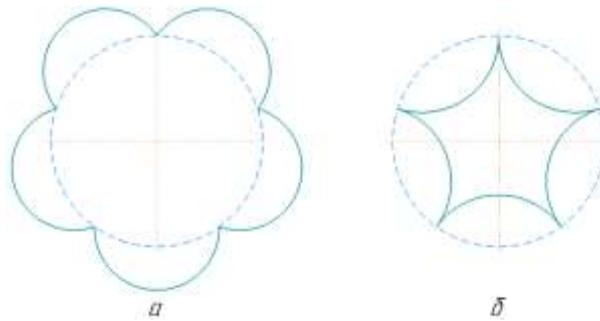


Рис. 1. Виды циклоид: а – эпициклоида; б – гипоциклоида

Первое упоминание о циклоиде датировано XVI веком [1]. Галилео Галилей, изучая траекторию точки катящейся окружности, построил циклоиду и предложил ее назвать так от греческого слова «циклос» – круглый. С того момента по настоящее время изучение применения циклоиды заметно продвинулось вплоть до появления множества механизмов, использующих циклоидальный профиль. На основе циклоидального профиля сформировано циклоидальное зацепление. В прошлом веке активно разрабатывались циклоидальные механизмы советскими и зарубежными учеными, при этом чаще всего планетарные, по следующим причинам: меньший габаритный осевой размер, многопарность зацепления и др. Изучив литературу [2–3] можно выделить следующие виды планетарных передач с циклоидальным зацеплением:

- планетарно-цевочные передачи;
- эксцентриково-циклоидальные передачи;
- передачи с промежуточными телами качения (ПТК);
- передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО).

Наиболее перспективной из этих передач является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО), так как она имеет комплекс преимуществ в сравнении с другими циклоидальными передачами. К таким преимуществам можно отнести: пониженное трение в зацеплении; высокую нагрузочную способность; повышенную надежность [4].

Передача с ПТКСО (рис. 2) работает следующим образом: вращение входного вала 1 сообщает кулачку 3 поступательное движение от эксцентрика. В свою очередь, профиль кулачка 3 вместе с профилем венца 6 создают клин, в который попадают тела качения 4. Тела качения 4, стараясь выйти из клина, начинают обкатываться по профилю венца 6, сообщая кулачку 3 и сепаратору 5 (вместе с телами качения 4) вращательное движение относительно собственных осей O_1 и O_2 соответственно. Таким образом, выходным звеном передачи с ПТКСО является кулачок 3, который совершает планетарное движение, вокруг своей оси O_1 , а его центр – вокруг оси передачи O_3 [4].

В передачах с ПТК слабым звеном является тонкостенный сепаратор, соединенный с выходным валом. Кроме того, под воздействием тел качения на пазы сепаратора увеличивается трение скольжения в зацеплении. Такой недостаток в передаче с ПТКСО компенсируется выделением сепаратора из передачи усилий.

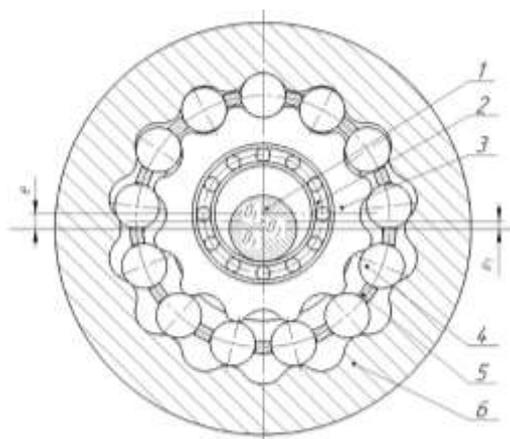


Рис. 2. Схема передачи с ПТКСО

Самым нагруженным звеном в передаче с ПТКСО является подшипник качения под сателлитом-кулачком. Для уменьшения усилия, действующего на подшипник качения, необходимо минимизировать усилия в зацеплении. В случае с однополюсной передачей (рис. 3, а) имеются ограничения по управлению параметрами, так как усилия F_i действуют по одной нормали. Двухполюсная передача (рис. 3, б) имеет в зацеплении разные по направлению усилия F_{1i} и F_{3i} , что расширяет технические возможности и позволяет подбирать оптимальные параметры передачи, способствующие уменьшению контактных напряжений в зацеплении и нагрузке на опору качения.

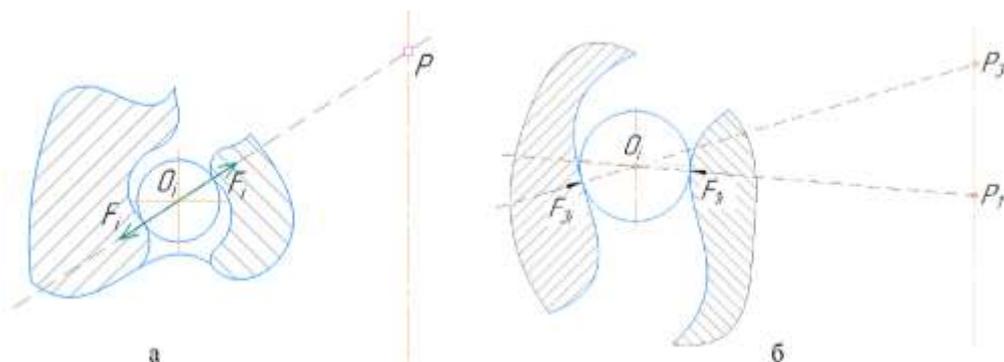


Рис. 3. Распределение усилий в зацеплении: а – однополюсной передачи; б – двухполюсной передачи

Рассмотренные виды циклоидальных механизмов подобны по следующим признакам: наличие эксцентрика, выполняющего функцию водила; являются планетарными; присутствует многопарность зацепления. Но каждая из них имеет определенные преимущества и недостатки. Для совершенствования таких механизмов требуется проводить углубленные исследования в области: КПД; усилий и контактных напряжений в зацеплении; смазочных материалов; материалов, из которых изготовлены детали таких передач.

Список литературы

1. Гиндикин С.Г. Рассказы о физиках и математиках / С.Г. Гиндикин. – 3-е изд., расширенное. – Москва: МЦНМО, 2001. – 448 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – Издание второе, переработанное и дополненное. – Москва: Издательство «Наука», 1968. – 585 с.
3. Фомин М.В. Планетарно-цветочные передачи : учебное пособие. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 64 с.
4. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой. – Томск: ТПУ, 2022. – 90 с.

КОНСТРУИРОВАНИЕ СБОРНЫХ И СКЛАДНЫХ ЛЕСТНИЦ

Устюгов М.В., студент группы 5031
Научный руководитель: А.П. Соколов, доцент, к.т.н.
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел. +7 (952) 004-23-02
E-mail: ustgov05@mail.ru

В период с 2010 по 2024 год наблюдается увеличение числа патентов на складные и сборные лестницы как в России, так и за рубежом. Это связано с появлением новых архитектурных форм, которые требуют разработки современных и инновационных конструкций лестниц. При проектировании лестниц для обслуживания купольных сооружений следует особенно акцентировать внимание на устойчивости конструкции. Следует учитывать соотношение жесткости лестницы и жесткости купольной структуры.

Ключевые слова: сборные лестницы, складные лестницы, конструирование, анализ.

Проведёт анализ патентной литературы за период с 2010 по 2024, и показано, что большинство разработок становятся сложнее [1]. Основное направление развития – дополнение старых разработок новыми полезными особенностями конструкции. Например, создание дополнительных стоек, изменение формы ступеней, несколько рознящие системы шарниров и креплений.

Рассмотрев российские и зарубежные патенты за период с 2010 по 2024 год, получили следующие гистограммы:

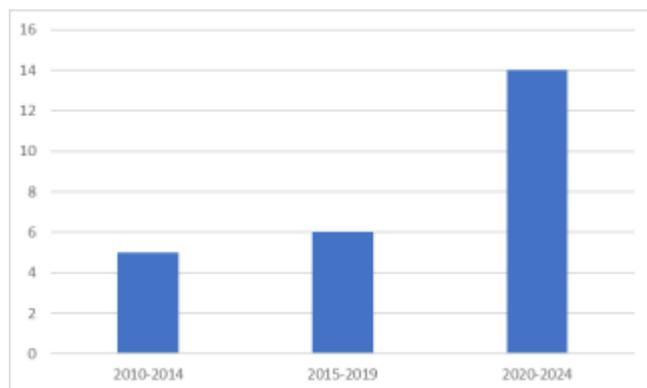


Рис. 1. Патентование в РФ в 2010–2024 гг.

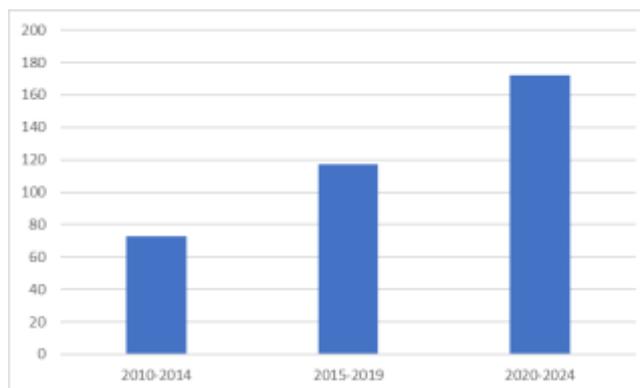


Рис. 2. Патентование за рубежом в 2010–2024 гг.

Патентный поиск показал: количество запатентованных решений увеличивается в каждом пятилетнем промежутке. Увеличение количества патентов указывает на возросший интерес к разработкам в этой сфере. Это означает, что компании и исследователи видят перспективы таких проектов и стремятся защитить свои разработки.

Большинству изделий этого класса присущи следующие недостатки: высокая сложность механизма, ненадёжность механизма, трудоёмкость установки, неудобство эксплуатации, низкая устойчивость, низкая устойчивость конструкции. Каждый из этих факторов чрезвычайно важен для обеспечения безопасной работы на высоте. Но чрезвычайно трудно создать такой продукт, который бы удовлетворял всем указанным критериям.

Степень важности различных критериев варьируется в зависимости от области применения, будь то строительство, производство или домашнее хозяйство. Самым важным требованием является устойчивость для всех областей. Для строительных лестниц важную роль играют такие факторы: высота, грузоподъёмность, прочность. Для производственных же

лестниц: компактность, надёжность, удобство. Для домашних хозяйств: высота, портативность, компактность, лёгкость.

При поиске решений для нестандартных задач, например, обслуживание купольного здания с внешней стороны, патентный поиск результатов почти не дал. Это говорит о том, что, чем более задача нестандартная, тем меньше существует решений для неё. Чаще всего, решения для задач выбираются из максимально общих концепций, которые потом дорабатываются. Чрезвычайно мало таких решений, которые значительно отличались по основной концепции от других разработок для схожих проблем [2].

Патентный поиск показал, что нет решений, которые удовлетворяют нашим критериям и позволяют обслуживать купольные сооружения с внешней стороны. Существуют решения стационарные, но их невозможно применить для куполов разного радиуса кривизны, а также они не являются мобильными. Проведём анализ одного из решений – передвижной лестницы для купольного здания (рис. 3) [3].

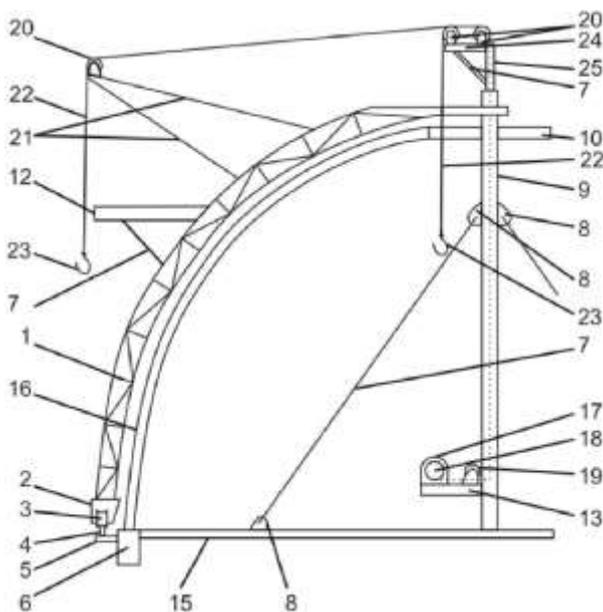


Рис. 3. Чертёж передвижной лестницы для купольного здания

Данная полезная модель обладает следующими преимуществами: возможен поворот вдоль основания здания, высокая надёжность, возможность использования для проведения ремонтно-строительных работ снаружи здания, удобство при использовании, наличие площадки для размещения инструментов, наличие лебёдки.

Данная полезная модель обладает следующими недостатками: стационарность конструкции, сложный механизм, влияние на внешний вид здания, необходимость заранее проектировать вертикальную колонну с поворотным механизмом, высокие трудозатраты на установку и подготовку.

Резюмируя вышесказанное, данное решение будет полезно, если здание предполагает частые, долгие и трудоёмкие ремонты. В иных случаях, лучше найти более подходящее решение. Подобное решение будет значительно влиять на внешний вид здания, что очень часто бывает важно. Данную разработку нельзя применить к уже построенным зданиям, ввиду необходимости предварительно возведённой колонны.

Выводы

1. За период с 2010 по 2024 наблюдается увеличение запатентованных решений на тему складных и сборных лестниц в России и за рубежом.
2. Новые формы зданий и помещений порождают новые решения в конструкциях лестниц.

3. При разработке лестниц для обслуживания купольных сооружений нужно уделять основное внимание устойчивости конструкции и учитывать соотношение жесткости лестницы и жесткости купольного строения.

Список литературы

1. Каталог федерального института промышленной собственности [Электронный ресурс]. – URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/> (дата обращения – 15.10.2024).

2. Каталог патентного поиска «Espacenet» [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldwide.espacenet.com/> (дата обращения – 14.10.2024).

3. Патент № 198229. Российская федерация, МПК E06C 1/397 (2020.02). Передвижная лестница для купольного здания / Лапенко С.Д. Оpubл. 25.06.2020. Бюл. № 18.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭЙЛЕРА И CFD-ТЕХНОЛОГИЙ

Конюшков Е.И.

Аспирант РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва

e-mail: grknshv@mail.ru

Известно, что в производственных системах для добычи, транспорта и переработки нефти и газа активно используются передовые научные разработки из других отраслей производства, включая авиационные технологии и модифицированные авиационные двигатели, так как наиболее актуальной является проблема сокращения энергетических затрат в производственных процессах, в том числе при добыче и подготовке нефти и газа. Специалистами Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина выполняются научно-исследовательские и конструкторские работы по созданию перспективных струйных аппаратов и турбомашин. В этих перспективных системах проточные каналы имеют сетчатую структуру, которая широко применяется при создании летательных аппаратов.

В общепринятом понимании, сетка – это представление более крупной геометрической области меньшими дискретными ячейками. В струйном аппарате камера смешения больших размеров заменяется набором более мелких камер смешения, которые связаны между собой с образованием проточных каналов в виде сетчатой структуры. Такая сетчатая структура проточной части турбомашин обеспечивает прочность и жесткость конструкции ротора при малой массе. Из-за малого числа подвижных деталей струйная система управления отличается высокой надежностью.

Разработанное техническое решение относится к области струйной техники, включая струйные насосы и компрессоры, струйные усилители с системами управления и струйные реактивные движители для систем динамического позиционирования с управлением вектором. Из известных технических решений наиболее близким к предлагаемому является струйная насосная установка, содержащая источники рабочей среды и перекачиваемой среды, струйный насос, оснащенный системой сопел, гидравлически соединенных по параллельной схеме и размещенных на входе в рабочую камеру с образованием кольцевого канала, в котором размещены П-образные карманы с образованием в них изолированных друг от друга подводных каналов, в каждом из которых установлено одно сопло и которые гидравлически связывают рабочую камеру с источниками перекачиваемой среды через запорные регулирующие устройства, при этом источник рабочей среды гидравлически связан с входами сопел, а источники перекачиваемой среды гидравлически соединены с кольцевым каналом. Недостатком указанного технического решения является относительно узкий диапазон регулирования рабочих параметров потока на выходе рабочей камеры, что ограничивает область применения струйной установки.

Технической проблемой, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является расширение диапазона рабочих параметров потока на выходе рабочей камеры.

Указанная проблема решается тем, что струйная установка содержит источники рабочей и перекачиваемой среды, струйный аппарат, оснащенный системой сопел, гидравлически соединенных по параллельной схеме и размещенных на входе в рабочую камеру с образованием кольцевого канала, в котором размещены П-образные карманы с образованием в них изолированных друг от друга подводных каналов, в каждом из которых установлено одно сопло и которые гидравлически связывают рабочую камеру с источниками перекачиваемой среды через запорные регулирующие устройства, при этом источник рабочей среды связан с входами сопел через гидравлический распределитель, а в рабочей камере выполнены разнонаправленные выходные каналы, каждый из которых сообщается с отдельным подводным каналом, с обеспечением подачи смеси рабочей и перекачиваемой среды в направлении от периферии к центру рабочей камеры.

Достижимый технический результат заключается в обеспечении контролируемого перераспределения энергии потока по площади выходного канала в рабочей камере с возможностью регулирования параметров количества движения потока и параметров эпюры скоростей в поперечном сечении на выходе рабочей камеры и с одновременным созданием условий для управления вектором тяги в рамках геометрической полусферы или в рамках полной геометрической сферы. Разработанная струйная установка показана на рисунке 1.

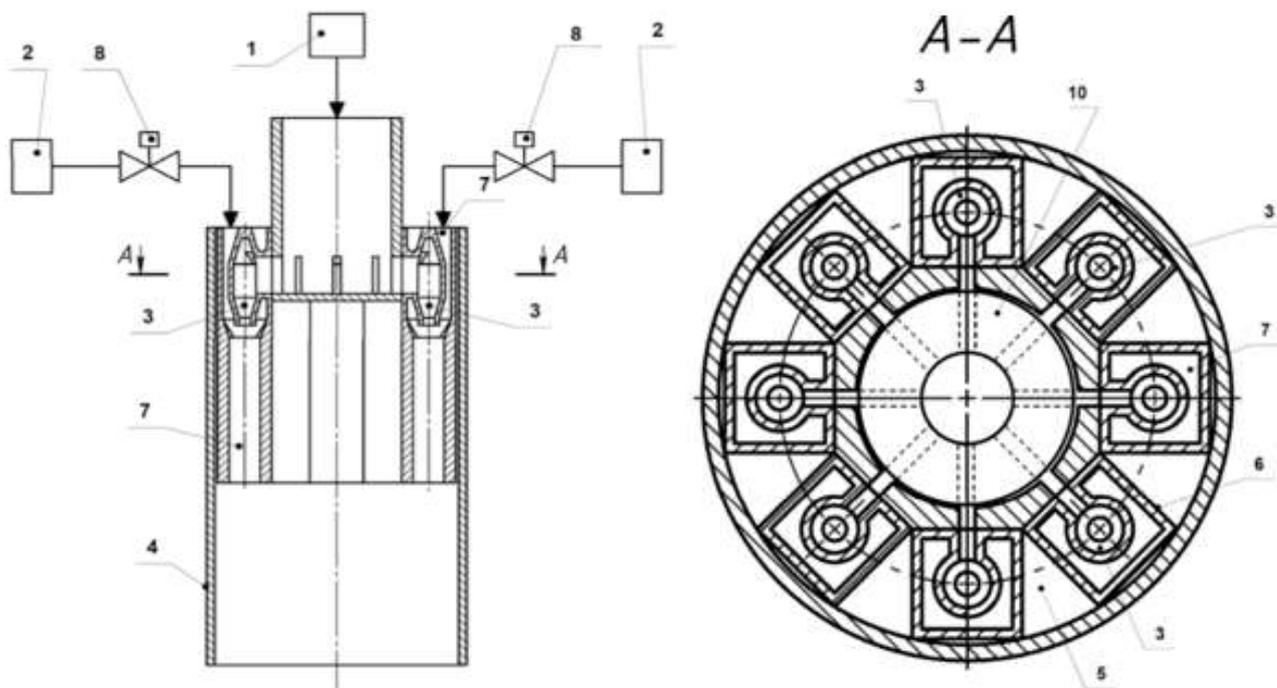


Рис. 1. Схема струйной насосной установки:

1 – источник рабочей среды; 2 – источник перекачиваемой сред; 3 – система сопел;
4 – рабочая камера; 5 – кольцевой канал; 6 – П-образные каналы; 7 – подводящие каналы;
8 – запорное устройство; 9 – выходные каналы; 10 – распределитель

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, номер темы FSZE-2023-0004.

Список литературы

1. Патент № 2813562 С1 Российская Федерация, МПК F04F 5/02, F04F 5/46. Струйная установка: заявл. 02.06.2023; опубл. 13.02.2024 / Ю.А. Сазонов, М.А. Мохов, Х.А. Туманян [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа». – EDN CVXTDN.
2. Thrust Vector Control within a Geometric Sphere, and the Use of Euler's Tips to Create Jet Technology / Yu.A. Sazonov, M.A. Mokhov, I.V. Gryaznova [et al.] // Civil Engineering Journal. – 2023. – Vol. 9. – No. 10. – P. 2516-2534. – DOI: 10.28991/cej-2023-09-10-011. – EDN LXRMBY.
3. Патент № 2781455 С1 Российская Федерация, МПК F04F 5/02. Струйная насосная установка: № 2021136707; заявл. 13.12.2021; опубл. 12.10.2022 / Ю.А. Сазонов, М.А. Мохов, Х.А. Туманян [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа». – EDN WUFFCM.
4. Development and prototyping of jet systems for advanced turbomachinery with mesh rotor / Y.A. Sazonov, M.A. Mokhov, I.V. Gryaznova [et al.] // Emerging Science Journal. – 2021. – Vol. 5, No. 5. – P. 775–801. – DOI: 10.28991/esj-2021-01311. – EDN BEZGFX.

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

*Крджаян А.В., студент гр. 4НМ41
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 701-777
e-mail: AVK253@tpu.ru*

Металлорежущие станки с числовым программным управлением играют ключевую роль в современном машиностроении, обеспечивая высокую точность и производительность обработки деталей. Однако, как и любое сложное оборудование, они подвержены износу и другим факторам, влияющим на их работоспособность. В данной статье рассматриваются основные показатели надежности МЦС с ЧПУ и их нормирование.

Технологическая надежность станка с ЧПУ определяется его способностью обеспечивать выполнение технологических операций с заданными показателями качества в течение требуемого промежутка времени. Отказ станка происходит, когда любой из заданных показателей качества обработки выходит за установленные пределы.

Основные показатели надежности

1. Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $Q(t)$: $P(t)$ – вероятность того, что в интервале времени t не возникнет отказа, связанного с точностью обработки.

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – число объектов в начале работы (серии испытаний); $n(t)$ – число отказавших элементов за время t .

Вероятность того, что отказ объекта произойдет за время, не превышающее заданной величины T , т. е. что $T < t$, как вероятность события, противоположного тому, при котором $T \geq t$, равна

$$Q(t) = \Pr\{T < t\} = 1 - P(t), t \geq 0.$$

Функция $Q(t)$ – вероятность отказа – представляет собой интегральную функцию распределения случайной величины, т. е. $Q(t) = F(t)$. Если функция $Q(t)$ дифференцируема, то производная от интегральной функции распределения есть дифференциальный закон (плотность) распределения случайной величины T – времени исправной работы:

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = f(t), f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Функция $f(t)$ также называется плотностью отказов.

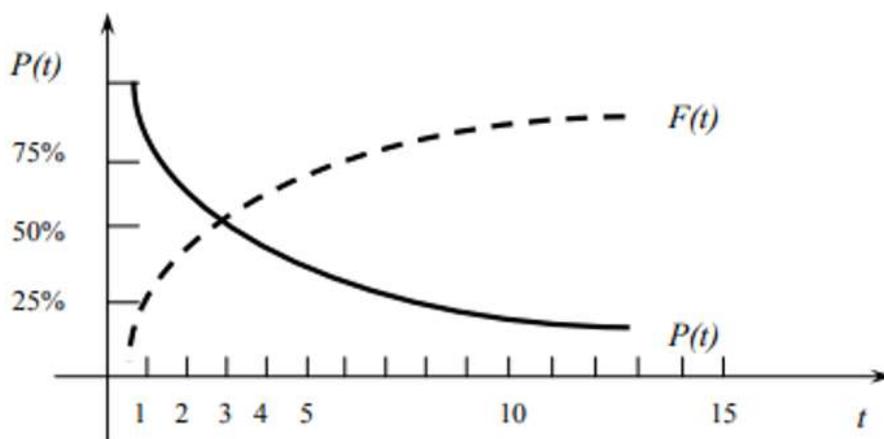


Рис. 1. Функция надежности $P(t)$ и функция распределения $F(t)$ случайной величины для экспоненциального распределения

2. Запас надежности (КТ): Потенциальная возможность станка по сохранению работоспособности.

$$KT = T_p - t,$$

где T_p – планируемый ресурс станка; t – текущее время.

3. Резерв станка по выходному параметру (δT): Запас станка по выходному параметру, который определяет его способность сохранять точность обработки.

$$\delta T = T_p - T_0,$$

где T_p – планируемый ресурс станка; T_0 – текущий ресурс станка.

4. Скорость изменения резерва станка (γT): Скорость изменения резерва станка по выходному параметру.

$$\gamma T = \frac{\delta T}{T_p},$$

где δT – резерв станка по выходному параметру; T_p – планируемый ресурс станка.

5. Скорость изменения коэффициента резерва (γK): Скорость изменения коэффициента резерва станка по выходному параметру.

$$\gamma K = \frac{\Delta K}{K_p},$$

где ΔK – изменение коэффициента резерва; K_p – планируемый коэффициент резерва.

6. Ресурс станка (ТР): Нарботка в часах до потери точности обработки.

$$T_p = \frac{T_{\text{раб}}}{K_{\text{ти}}}$$

где $T_{\text{раб}}$ – суммарное время работы станка за некоторый период эксплуатации; $K_{\text{ти}}$ – коэффициент технического использования.

Нормирование показателей надежности МЦС с ЧПУ включает установление предельных значений для каждого из выходных параметров станка. Эти параметры определяют его работоспособное состояние и включают точность обрабатываемых поверхностей, режимы резания, нагрузки и величины перемещений рабочих органов.

С помощью кривой нормального распределения можно определить вероятное количество годных деталей при обработке партии заготовок. Также, зная номинальный размер обработки и допуск на него, по площади кривой нормального распределения можно рассчитать процент возможного брака.

Обеспечение высокой технологической надежности МЦС с ЧПУ является важной задачей для любого машиностроительного предприятия. Введение и нормирование показателей надежности, перечисленных в данной статье, позволяет эффективно прогнозировать и поддерживать работоспособное состояние станков, что способствует повышению качества и производительности обработки деталей.

Металлорежущие станки с числовым программным управлением (МЦС с ЧПУ) играют ключевую роль в современном машиностроении, обеспечивая высокую точность и производительность обработки деталей. Однако, несмотря на их важность, существует ряд актуальных проблем, связанных с их надежностью и нормированием показателей.

Основные проблемы

1. **Устаревшее оборудование:** Значительная часть станков в машиностроительном комплексе имеет средний возраст 20 и более лет. Это приводит к снижению эффективности работы и надежности выпускаемых машин.

2. **Нехватка квалифицированных кадров:** Средний возраст работников отрасли превышает 50 лет, что свидетельствует о снижении интереса к инженерным специальностям

среди молодого поколения. Это ограничивает возможности отрасли адаптироваться к меняющимся технологическим условиям.

3. **Недостаточная государственная поддержка:** до 2014 года предприятия преимущественно выбирали готовые решения зарубежных компаний, что свидетельствует о недоверии к отечественным возможностям. Последующий переход к разработке отечественного программного обеспечения и оборудования требует надежных механизмов поддержки.

4. **Глубокая специализация:** Каждое предприятие придерживается строго определенной номенклатуры продукции, что ограничивает возможности отрасли по удовлетворению широкого спектра потребностей и делает ее уязвимой к колебаниям в отдельных секторах экономики.

5. **Отсутствие интеграции:** Исторически сложившееся единство машиностроительных предприятий как интегрированных комплексов разрушилось, уступив место фрагментарности. Это препятствует эффективному обмену знаниями, ресурсами и передовым опытом.

Отсутствие интеграции в машиностроительной отрасли является одной из ключевых проблем, которая существенно влияет на показатели надежности станков с ЧПУ и их нормирование. Исторически сложилось так, что машиностроительные предприятия функционировали как интегрированные комплексы, где обмен знаниями, ресурсами и передовым опытом был естественным процессом.

Однако с течением времени эта структура разрушилась, уступив место фрагментарности. В результате каждое предприятие стало придерживаться строго определенной номенклатуры продукции, что ограничивает возможности отрасли по удовлетворению широкого спектра потребностей и делает ее уязвимой к колебаниям в отдельных секторах экономики.

Отсутствие интеграции приводит к следующим негативным последствиям для надежности станков с ЧПУ:

1. **Недостаток обмена опытом:** Каждое предприятие работает в изоляции, что затрудняет обмен знаниями и передовыми практиками. Это снижает общий уровень технологической осведомленности и не позволяет внедрять лучшие практики в области надежности станков.

2. **Ограниченные ресурсы:** Фрагментация отрасли приводит к тому, что предприятия не могут эффективно использовать общие ресурсы и технологии. Это ограничивает возможности для модернизации и повышения надежности оборудования.

3. **Снижение качества продукции:** Недостаток обмена знаниями и ресурсами приводит к тому, что предприятия не могут гарантировать стабильное качество продукции.

Список литературы

1. Горбунов В.П., Рудюк А.Н. «Показатели надежности металлорежущих станков с ЧПУ и их нормирование» Брестский государственный технический университет, 2023.
2. Иванов И.И. «Технологическая надежность станков с ЧПУ» Машиностроение, 2022.
3. Петров П.П. «Нормирование показателей надежности станков с ЧПУ» Машиностроение, 2021.
4. Сидоров С.С. «Расчет показателей надежности станков с ЧПУ» Машиностроение, 2020.

К ПРОБЛЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО САТЕЛЛИТАМ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Максимов И.В.¹, Жуков И.А.²

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
группа ИТО-21,

e-mail: s210505@stud.spmi.ru

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
зав. кафедрой машиностроения,

e-mail: Zhukov_IA@pers.spmi.ru

Во многих современных механических системах используются планетарные зубчатые передачи с числом сателлитов более одного. Данные передачи имеют большие передаточные отношения при своей компактности и высокий КПД машины или агрегата в целом. Многосателлитные планетарные механизмы имеют ряд достоинств, по сравнению с другими зубчатыми механизмами. Такими достоинствами являются, например, меньшие габаритные размеры при аналогичных значениях мощности и частоте вращения на входном валу по сравнению с прочими зубчатыми передачами, а также соосная конструкция механизма и симметричная позиционность сателлитов, что позволяет, в совокупности, обеспечить компактность передачи. Тем не менее, имеются и существенные недостатки, основными из которых являются высокие требования к точности изготовления и сборки.

Планетарные механизмы с числом сателлитов более одного также имеют проблему с избыточностью связей в механизме. Данной проблеме было посвящено достаточное количество работ, среди которых популярным является решение, предусматривающее использование принципа образования механизмов по Ассуру, предложенное Л.Т. Дворниковым [1]. Идея заключается в добавлении таких групп нулевой подвижности, при которых по формуле П.Л. Чебышева подвижность механизма стала бы равна единице:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4,$$

где n – число подвижных звеньев; p_5 – число кинематических пар пятого класса; p_4 – число кинематических пар четвертого класса.

Рассмотрим односателлитный планетарный механизм Джеймса (рис. 1, а). По (1) подвижность данного механизма равна единице. Так как в механизме задействован всего один сателлит, то и момент будет передаваться от центрального зубчатого колеса на выходное звено только через него.

Далее, если обратиться к двухсателлитному или четырехсателлитному планетарным механизмам, то можно заметить, что их подвижность по (1) равна меньше единицы, а значит данные механические системы статически неопределимы и неработоспособны. На практике, однако, данные механизмы показывают обратное. Это объясняется тем, что в механизмах умышленно, при изготовлении, создают зазоры между зубьями сателлитов и центрального колеса. Данный метод обеспечивает работоспособность механизма, но момент от центрального колеса одновременно передается лишь через один сателлит, исключая передачу через остальные сателлиты (рис. 1, б; в), что будет учитываться при расчете сателлита на прочность, что в дальнейшем негативно повлияет на габаритные размеры всей передачи.

Решением проблемы избыточности связей и равномерной передачи момента на все четыре сателлита для четырехсателлитного планетарного механизма является Патент РФ № 2583320 [2]. Если разложить предложенную схему послойно (рис. 1, г), то становится ясно, что, при добавлении группы нулевой подвижности, было решено сразу две проблемы. Во-первых, подвижность механизма по (1) стала равна единице, что говорит нам о работоспособности механизма. Во-вторых, благодаря добавлению трехшарнирных рычагов, момент от центрального колеса передается равномерно через все сателлиты. Таким образом, при расчете на прочность такого механизма будет считаться, что момент делится на все четыре

спутника одновременно, что позволит уменьшить их габариты, однако, с добавлением подобной группы, механизм также приобрел динамическую неуравновешенность, что ведет к перегрузкам и разрушению подшипниковых опор механизма.

Новым техническим решением является Патент РФ № 229267 [3], представляющий собой четырехспутниковый планетарный механизм и отличающийся тем, что он является динамически уравновешенным (рис. 1, д).

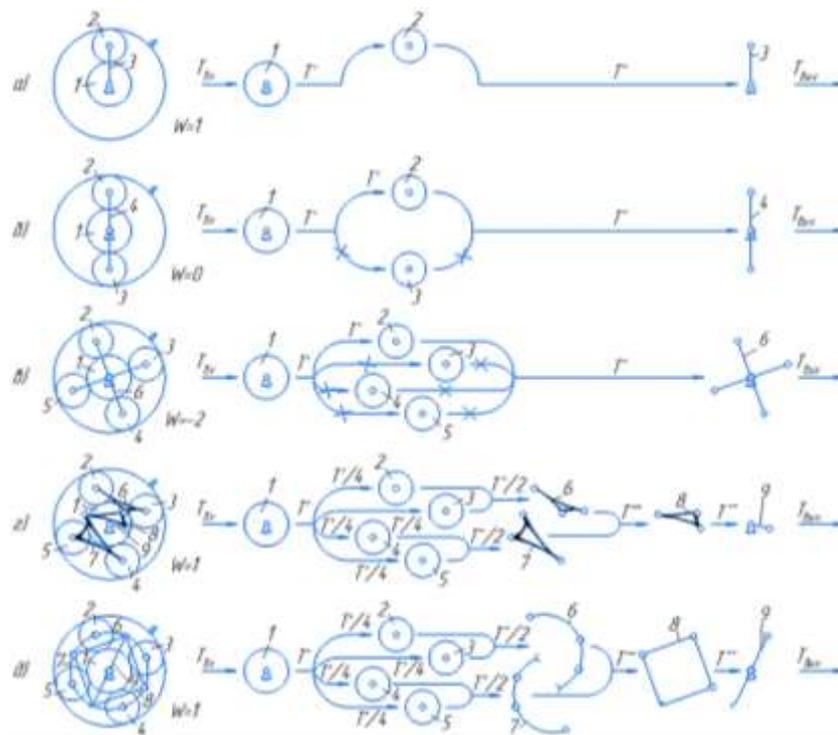


Рис. 1. Схемы планетарных механизмов [составлено авторами]

Если данный механизм также рассмотреть послойно, то можно заметить, что момент, получаемый центральным ведущим зубчатым колесом, также равномерно передается на выходное звено через все четыре сателлита, соединенные посредством группы Ассур. Первый и второй трехшарнирные рычаги, с целью уравновешивания, были выполнены в виде двух симметричных относительно центральной оси вращения полуколец. Третий трехшарнирный рычаг был выполнен в виде полого квадрата с центром, находящимся на центральной оси всего механизма. От третьего трехшарнирного рычага момент передается на выходное звено, выполненное в виде стержня, длина которого равна двум межосевым расстояниям механизма.

Обобщая все вышеперечисленное, можно сказать, что новое техническое решение обеспечивает динамическую уравновешенность механизма. Одновременная передача момента через все сателлиты обеспечивает уменьшение их размеров и передачи в целом.

Список литературы

1. Дворников Л.Т., Герасимов С.П. Принципиальные проблемы многосателлитных планетарных зубчатых передач и возможные пути их разрешения // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12–1. – С. 44–51
2. Патент № 2583320 РФ, МПК F16H 1/28. Самоустанавливающаяся четырехспутниковая планетарная передача / Дворников Л.Т., Герасимов С.П. – № 2015100339/11 приоритет от 12.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13.
3. Патент №229267 РФ, МПК F16H 1/48. Уравновешенный четырехспутниковый планетарный механизм / Жуков И.А., Филипенко И.А., Максимов И.В. – № 2024120014 приоритет от 17.07.2024; опубл. 30.09.2024, Бюл. № 28.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НАДЕЖНОСТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЕ

Ли Синь¹, Гуань Юньжо²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180101,
e-mail: azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: С непрерывным прогрессом в развитии сельскохозяйственной экономики Китая количество применяемого оборудования для механизации сельского хозяйства продолжает увеличиваться, а качество и надежность оборудования привлекают все больше внимания. Безопасность и качество сельскохозяйственной машины необходимо срочно улучшить. Поэтому на основе анализа надежности сельскохозяйственной машины необходимо проанализировать качество и безопасность сельскохозяйственной машины.

Ключевые слова: сельскохозяйственная машина; качество продукции

По сравнению с развитыми странами, качество и надежность оборудования для механизации сельского хозяйства в Китае нуждаются в постоянном улучшении и совершенствовании. В общем случае под надежностью понимается способность продукта стабильно выполнять заданную функцию в течение ожидаемого срока службы при заданных условиях эксплуатации. Это понятие тесно связано с эксплуатационными характеристиками сельскохозяйственных машин и оборудования: в частности, «надежность» относится к продолжительности безотказной работы сельскохозяйственных машин и оборудования в течение срока их службы, а в более широком смысле – к удовлетворенности пользователей и доверию к работе оборудования [1].

Значение работы по обеспечению надежности: способность эффективно снижать частоту проблем с оборудованием и тем самым эффективно повышать безопасность; можно эффективно увеличить время эффективного использования оборудования, избежать проблем, вызванных неисправностями, которые могут вызвать простои, вызванные ремонтом оборудования, и увеличить фактическое использование оборудования в целом. Сокращение ненужных затрат на техническое обслуживание, снижение затрат на использование и повышение эффективности использования оборудования. Для предприятий по производству сельскохозяйственной машины и оборудования улучшение качества и надежности оборудования может способствовать лучшему развитию предприятий.

Содержание работ по надежности сельскохозяйственной машины:

1. Проектирование надежности: внимание уделяется созданию надежности и качества продукции, повышению надежности проектирования и производства и в конечном итоге созданию высококачественной продукции сельскохозяйственной машины.

2. Моделирование и прогнозирование надежности: модель надежности сельскохозяйственной техники и механической продукции относится к блок-схемам и соответствующим математическим выражениям между подсистемами и компонентами внутри продукции. При прогнозировании надежности частота отказов компонентов и компонентов оборудования обычно сначала прогнозируется.

3. Анализ влияния режима неисправности (FMEA): анализ режима неисправности каждой части и его влияния, таким образом можно хорошо прогнозировать и реагировать на виды неисправности, овладеть слабыми и ключевыми звеньями продукции, обеспечить позитивную и эффективную основу для улучшения оборудования и профилактики контроля.

4. Анализ дерева неисправностей (FTA): может систематически анализировать сложные проблемы неисправностей, проводить слой за слоем дедукцию, может комплексно анали-

зировать различные факторы влияния, включая факторы влияния человека и факторы влияния окружающей среды, и может визуально отображать с помощью графики, а анализ отказов более интуитивно понятным.

5. Анализ наихудшего случая (WCA): в условиях анализа наихудшего случая схемы и стресс-анализа компонентов мы можем заблаговременно определить факторы, влияющие на производительность схемы и стресс компонентов, и таким образом точно выявить уязвимые места качества продукции.

6. Анализ потенциальных схем (SCA): в конце проектирования схемы важно не упустить потенциальные схемы из анализа, своевременно исключить потенциально проблемные схемы, усилить слежение и избежать потенциальных проблем в схеме, применяя соответствующие рекомендации по проектированию.

7. Испытание на надежность: испытание на повышение надежности, на этапе разработки продукта, может быть принято, чем соответствующие технические спецификации более суровые условия испытаний, чтобы ускорить возникновение потенциальных дефектов в продукте, так что обеспечить условия для непрерывного совершенствования продукта и проверки качества продукции. Например, в прибрежных районах, с их высокой влажностью почвы и солевым составом, могут проводиться испытания на солевой туман [2].

Вывод

В заключение следует отметить, что необходимо проводить и реализовывать политику и требования по энергичному повышению надежности сельскохозяйственной машины, усилить значение надежности сельскохозяйственной машины и оборудования. Также необходимо усилить обучение, постоянно совершенствовать соответствующие рабочие стандарты и систему продукции, чтобы повысить надежность работы сельскохозяйственных машин и оборудования, чтобы обеспечить соответствующие условия и основу.

Список литературы

1. Ван Сяоин. Характеристики и проблемы использования сельскохозяйственной техники в Китае // Использование и техническое обслуживание сельскохозяйственной техники. – 2018. – № 12. – С. 37.
2. Дай Чанцзян, Му Хайтао, Юань Чжунсин. Анализ ремонта и технического обслуживания сельскохозяйственной машины // Друзья фермеров за богатство. – 2018. – № 24. – С. 151.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ли Шуцзя¹, Пэй Цзясинь²

¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180301,
e-mail: azhi0226@mail.ru

²Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, группа-22180501,
e-mail:azhi0226@163.gmail.com

Аннотация: Надежность механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей имеет решающее значение для эксплуатационных характеристик автомобилей. Надежность трансмиссии, тормозной и рулевой систем необходимо глубоко анализировать с помощью таких методов, как FMEA и FTA. На примере Tesla Model S изучается надежность электропривода, ЕВА и EPS, а также предлагаются стратегии оптимизации.

Ключевые слова: интеллектуальные подключенные автомобили; надежность механических систем; анализ неисправностей

1. Введение

Интеллектуальные подключенные автомобили являются продуктом промышленной интеграции и становятся направлением развития транспорта. Технический прогресс повышает интеллектуализацию автомобилей и многостороннее взаимодействие, хотя это полезно для транспорта, но предъявляет более высокие требования к надежности механических систем. Поэтому анализ надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей имеет решающее значение.

2. Методы анализа надежности механических систем

2.1. Теория анализа надежности

Теоретическая основа имеет ключевое значение при анализе надежности интеллектуальных подключенных автомобильных механических систем. FMEA и FTA являются широко используемыми методами: FMEA выявляет потенциальные неисправности и их последствия и способствует раннему вмешательству; FTA показывает события и причины неисправности с помощью логического дерева, что облегчает понимание причин неисправности [1]. Сочетание этих двух систем обеспечивает всесторонний анализ надежности механических систем и обеспечивает высокую надежность и безопасность на протяжении всего жизненного цикла [2].

2.2. Создание модели надежности

Математическая модель надежности основана на теории вероятностей и математической статистике для прогнозирования поведения при отказе. Базовая модель имеет экспоненциальное распределение $R(t) = e^{-\lambda t}$ и подходит для компонентов без заметного износа. Для механических систем процесс износа и старения описывается с помощью логарифмического распределения или логарифмического нормального распределения [2]. Для механических систем обычно используются более сложные модели, такие как распределение Вейбура или логарифмическое нормальное распределение. Модель надежности каскадной системы: $R_{series}(t) = \ln R_i(t)$, параллельная система $R_{parallel}(t) = 1 - \ln(1 - R_i(t))$. Доступность в стационарном состоянии $A = \lambda + \mu$, если учесть возможность восстановления системы. Для точного описания надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей может потребоваться внедрение модели Маркова или байесовской сети.

3. Анализ надежности механических систем интеллектуальных подключенных автомобилей

3.1. Анализ надежности системы силового привода

Распознавание режима отказа и оценка надежности имеют ключевое значение в интеллектуальной подключенной системе трансмиссии автомобиля. Tesla Model S использует пе-

редовую технологию электропривода, аккумулятор рассчитан на длительный срок службы и низкую скорость деградации. Tesla идентифицирует режимы отказов с помощью постоянного мониторинга и анализа данных (например, BMS контролирует состояние аккумуляторных блоков) и использует прогнозные модели для оценки надежности, предоставляя владельцам точные рекомендации по техническому обслуживанию. При этом обновления программного обеспечения постоянно оптимизируют производительность и надежность.

3.2. Анализ надежности тормозной системы

Tesla Model S использует электронную систему усилителя тормозов (EBA), которая обладает преимуществами быстрого отклика и простоты обслуживания по сравнению с традиционными гидравлическими тормозными системами. Согласно записям технического обслуживания, предполагается, что за 100 000 км пробега частота отказов тормозной системы составляет 0,5 %, то есть около 1 из 200 автомобилей столкнется с неисправностью. Анализ с использованием функции надежности $R(t) = e^{-\lambda t}$, где $\lambda = 0,005$ неисправности / (автомобиль \times км). Подсчитано, что после 10 000 километров пробега Tesla Model S надежность тормозной системы составляет около 97,5 %.

3.3. Анализ надежности системы рулевого управления

Tesla Model S имеет электроусилитель руля (EPS), который обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными системами. Неисправности его системы рулевого управления включают в себя отказ усилителя, отказ электронного блока управления и датчиков, а частота отказов связана со сроком службы и пробегом автомобиля. Предполагая, что частота отказов составляет 1 % на 100 000 транспортных средств, то есть 1 отказ на 1000 транспортных средств, частота отказов λ составляет около 0,00167 отказов / (автомобиль \times месяц). По оценкам, надежность рулевой системы Tesla Model S после 60 месяцев езды составляет около 98 %.

Заключение

Tesla Model S основывается на инновациях в системах силы, торможения и рулевого управления, опираясь на передовые электронные управления и интеллектуальные технологии. В будущем интеллектуальные подключенные автомобильные механические системы будут в большей степени зависеть от этой технологии, необходимо обратить внимание на надежность и безопасность, изучать новые материалы, стратегии проектирования и обслуживания для повышения производительности и конкурентоспособности.

Список литературы

1. Ли Мэнжэнь, Ху Панхуэй, Янь Шисяо. Применение диагностики неисправностей в механических системах автомобильных двигателей // China Equipment Engineering. – 2023. – № 23. – С. 181–182.
2. Цинь Цинь. Исследование ключевых технологий электронно-механического торможения автомобилей // Электронные технологии и программная инженерия. – 2022. – № 13. – С. 162–165.

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ОСНОВЕ

Авад П.А.¹, Исаев Ю.Н.²
¹ТПУ, ИШИТР, гр. 8ЕМ42,

e-mail: paa12@tpu.ru

²ТПУ, ИШИТР, Доктор Ф-М Наук,

E-mail: isaev@tpu.ru

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к разработке многофункциональных роботов, которые находят широкое применение в таких областях, как промышленность, научные исследования и медицина [1].

Многофункциональные роботы способны выполнять разнообразные задачи, включая транспортировку грузов, диагностику и ремонт оборудования, мониторинг окружающей среды и даже оказание помощи в медицинских учреждениях.

Конструкция многофункционального робота должна соответствовать ряду требований, чтобы эффективно справляться с широким спектром задач [2–4].

Одним из инновационных подходов к проектированию таких роботов является использование кольцевой структуры в качестве основы конструкции.

Кольцевая структура обладает рядом преимуществ: она обеспечивает устойчивость и равномерное распределение нагрузки, что особенно важно для работы в сложных условиях. Благодаря своей симметрии и централизованной форме, кольцевая структура позволяет значительно улучшить маневренность и компактность робота, а также упростить добавление модулей для выполнения различных задач [5].

Такое решение делает робота универсальным и эффективным для выполнения задач в условиях ограниченного пространства и сложных сред на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция многофункционального робота (Curiosity Rover)

Концепция и особенности конструкции

Конструкция многофункционального робота на основе кольцевой структуры отличается продуманной колесной базой, состоящей из шести колес, каждое из которых оснащено независимой подвеской. На изображении рис 2, что подвеска представляет собой систему соединительных рычагов, закрепленных на общей оси.



Рис. 2. Концепция и особенности конструкции

Кроме того, каждый узел на рис 3 крепления колеса снабжен амортизирующими элементами, которые снижают воздействие вибраций и ударных нагрузок, передаваемых на основную платформу робота. Эта система подвески не только улучшает плавность хода, но и увеличивает срок службы узлов за счет уменьшения износа при движении по сложной поверхности.

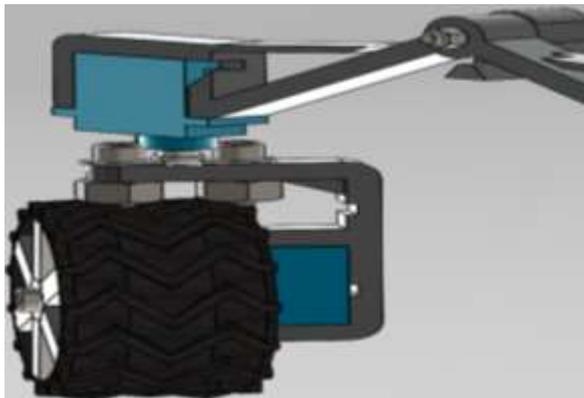


Рис. 3. Концепция и особенности конструкции

Важной частью конструкции является система поворота, которая позволяет роботу маневрировать даже в ограниченном пространстве. Благодаря такой системе креплений и механизму подвески робот обладает высокой гибкостью и маневренностью, что делает его эффективным для решения широкого спектра задач, требующих повышенной устойчивости и адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации.

Для описания концепции и особенностей конструкции робота с учетом первого изображения, можно выделить следующие аспекты:

Разработка многофункционального робота и особенности конструкции

На изображении рис 4 представлена общая конструкция многофункционального робота, разработанная на основе кольцевой структуры.

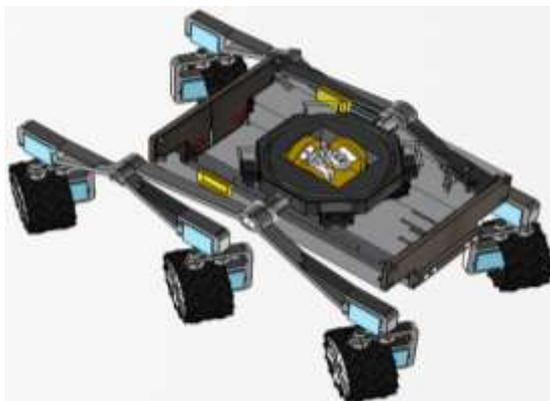


Рис. 4. Разработка многофункционального робота на кольцевой основе

Выбор именно такой структуры продиктован несколькими ключевыми факторами.

1. Устойчивость и равномерное распределение нагрузки: кольцевая структура позволяет равномерно распределить вес и нагрузку по всей платформе робота.

2. Гибкость и адаптивность колесной базы: конструкция робота включает шесть колес с независимой подвеской, что обеспечивает высокую проходимость и способность преодолевать препятствия.

3. Многофункциональность: кольцевая платформа позволяет легко добавлять или заменять модули и оборудование, расширяя возможности робота для выполнения различных задач.

4. Экономичность и простота сборки: конструкция на основе кольцевой платформы не только облегчает сборку, но и упрощает обслуживание.

Преимущества

- Высокая устойчивость благодаря кольцевой платформе, что делает робота надежным даже на неровных поверхностях.
- Плавность хода и адаптивность за счет независимой подвески, что позволяет роботу легко преодолевать препятствия.
- Многофункциональность и расширяемость, позволяющие добавлять различные модули для выполнения широкого спектра задач.
- Экономичность и удобство обслуживания благодаря модульной конструкции, что упрощает замену и ремонт компонентов.

Выбор такой конструкции обусловлен необходимостью создания устойчивого и гибкого робота, способного выполнять различные задачи в сложных условиях.

Заключение

Разработка многофункционального робота на кольцевой основе показала, что такая конструкция улучшает устойчивость, маневренность и гибкость. Кольцевая структура позволяет равномерно распределять нагрузку, адаптироваться к сложной поверхности и легко добавлять модули для различных задач. Независимая подвеска и амортизация колес обеспечивают плавность хода и повышенную проходимость, что делает робота пригодным для использования в условиях ограниченного пространства или на пересеченной местности. Данная конструкция повышает универсальность и экономичность робота, расширяя его возможности для применения в промышленности, медицине и научных исследованиях, отвечая требованиям современных автоматизированных решений.

Список литературы

1. Калабин М.А. Разработка и проектирование роботов: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020 (дата обращения: 13.11.2024).
2. Иванов И.В. Инновационные технологии в робототехнике. – СПб.: Питер, 2019.
3. Соловьев П.А., Сидоров А.В. Основы теории надежности машин и механизмов. – М.: Академкнига, 2018.
4. Robotics Engineering: Principles and Practice / Ed. S. R. Schilling. – Berlin: Springer, 2021.
5. Smith A. Advances in Multifunctional Robotics // Journal of Robotics Research. – 2022. – Vol. 41, No. 3. – P. 215–231.

РАСЧЕТ НА КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛАНЕТАРНЫХ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН С НЕКРУГЛЫМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ

Базаров Б.И.¹, Ивкина О.П.²

¹НИ ТПУ ИШПР группа 2БМ36,
e-mail: bazarov.bair2016@yandex.ru

²НИ ТПУ ИШПР группа А4-20,
e-mail: olivkina93@yandex.ru

С развитием технологий стало актуально применение планетарных роторных гидромашин с некруглыми зубчатыми передачами (ПРГМ). Их достоинствами являются простая конструкция опорных узлов, уравновешенность, высокая быстроходность, надёжная работа, высокий КПД. В настоящее время производство ПРГМ сдерживается слабой изученности теоретических вопросов, в частности геометрического синтеза некруглых зубчатых звеньев.

Планетарная роторная гидромашинка (ПРГМ) – это объёмная гидромашинка, состоящая из центральных зубчатых колёс и плавающих сателлитов.

Поскольку планетарная роторная гидромашинка с некруглыми зубчатыми колёсами в настоящее время находит своё применение, и материалов по ее исследованию мало, становится актуальным исследование ее контактных напряжений. Для этого, был произведен расчет геометрии, построена 3D-модель и произведен расчет в ПО «ANSYS R2 2020».

Выбор геометрических характеристик профилей солнечных колёс и сателлита.

Исходные данные:

Число волн внутреннего колеса $M = 6$;

Число волн наружного колеса $N = 8$;

Число зубьев колёс: $Z_1 = 72$; $Z_2 = 96$; $Z_c = 12$;

Модуль зацепления $m = 1,25$;

Передаточное отношение $i = 12 = N/M = 1,33$;

Сталь 20Х;

Допустимое контактное напряжение – 389 МПа.

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния механической передачи использовалась ПО ANSYS R2 2020. В версии ANSYS 2020 применяется метод конечных элементов для построения и решения математических моделей различных физических процессов.

По завершении анализа граничных условий можно оценить работоспособность и надёжность механической передачи, потенциальные проблемы и внести необходимые изменения для оптимизации конструкции.

После установки ограничений на солнечное колесо и сателлит применяется нагрузка. Нагрузка накладывается на солнечное колесо. Зная предел прочности материала, методом перебора нахожу максимальную нагрузку. Она равна $-4600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$.

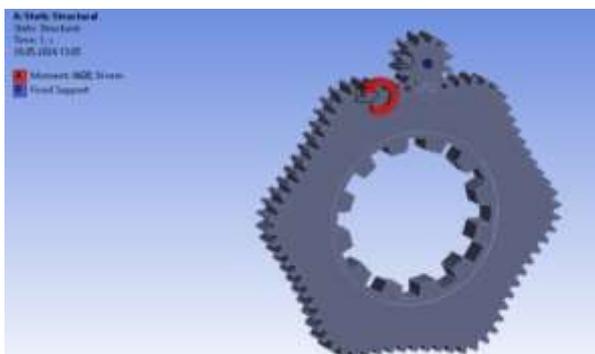


Рис. 1. Граничные условия

После выполнения вышеперечисленных задач, запускается расчет напряженно-деформированного состояния солнечного колеса и сателлита.

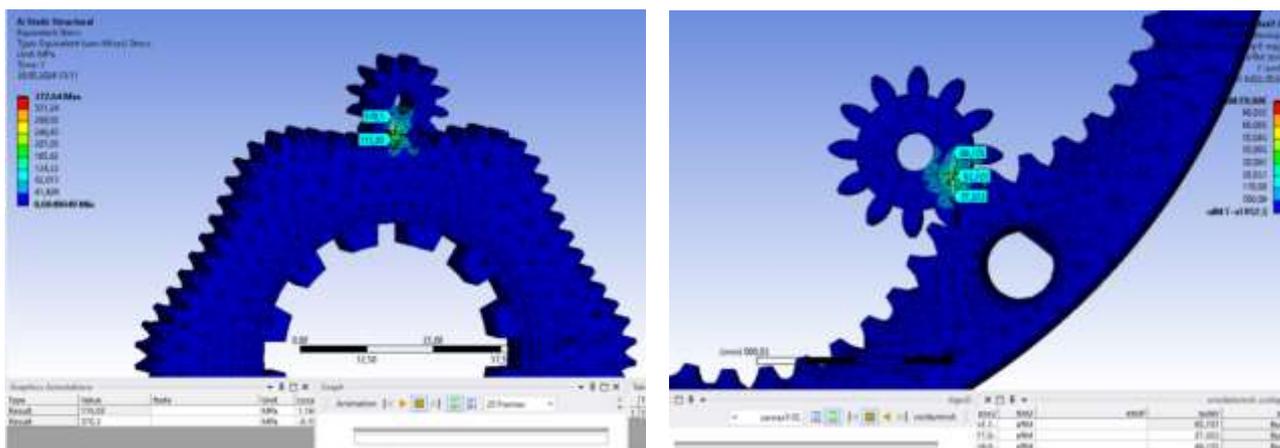


Рис. 2. Результаты расчета контактных напряжений

Максимальное напряжение составило 372,64 МПа, допустимое контактное напряжение (389 МПа) не превышено.

Полученные результаты контактных напряжений не превышают допустимых значений. Получившийся коэффициент запаса прочности для солнечного колеса и сателлита составил $[RF] = 389/372,64 = 1,04$; для сателлита и эпицикла – $[RF] = 389/360 = 1,08$.

Список литературы

1. Ан И-Кан Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин: дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2001. – 236 с. 34.
2. Ан И-Кан Центроиды некруглых колес планетарных механизмов роторных гидромашин // Вестник машиностроения. – 2001. – № 5. – С. 3–6.
3. Ан И-Кан, Беляев А.Е. Синтез планетарных передач применительно к роторным гидромашинам. – Новоуральск: НПИ, 2001. – 91 с.
4. Болотовский И.А. и др. Справочник по геометрическому расчёту эвольвентных зубчатых и червячных передач. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
5. ГОСТ 19274-73. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внутреннего зацепления. Расчет геометрии. – М., 1975. – 64 с.
6. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М., 1989. – 129 с.
7. Литвин Ф.Л. Некруглые зубчатые колеса. – Москва-Ленинград: МАШГИЗ, 1956. – 218 с.

ОБЗОР МЕТОДИК ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЛАНЕТАРНО-РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН

Ивкина О.П.¹, Базаров Б.И.²

¹НИ ТПУ, ИШПР, гр. А4-20,

e-mail: opi1@tpu.ru

²НИ ТПУ ИШПР, гр. 2БМ36,

e-mail: bazarov.bair2016@yandex.ru

Гидравлические двигатели используются во многих отраслях промышленности. К преимуществам гидродвигателей относят их компактность, высокий крутящий момент, плавную механическую передачу, а также нетребовательность к рабочей среде. Эти достоинства гидродвигателей обусловлены их конструктивной особенностью – применением зубчатой планетарной передачи с плавающими сателлитами.

Вопросами геометрического синтеза планетарно-роторных машин с некруглыми зубчатыми колесами занимаются ученые по всему миру уже много лет. В 1977 году [2] американским ученым Bohdan Sieniawski была разработана конструкция нового гидромотора с некруглой планетарной передачей (рис. 1).

С развитием техники геометрия некруглых зубчатых колес перестала ограничиваться эллиптической третьего порядка, появились более геометрически сложные некруглые зубчатые механизмы, имеющие улучшенные механические характеристики. Однако это привело к сложности разработки конструкции, а также к сложности и дороговизне производства некруглых зубчатых колес.

В настоящее время наибольших успехов в вопросах геометрии зубчатых колес для планетарно-роторных гидромашин добились такие ученые, как Dawei Li, D. Mundo, T. Hasse, V. Laczik, V. Marius. Среди отечественных учёных это Ан И-Кан и Г.Ю. Волков.

Так, в докторской диссертации российского ученого Ан И-Кана [3] рассматриваются вопросы метода синтеза центроид некруглых солнечных колес планетарных передач с плавающими сателлитами. Однако разработанный метод, состоящий из череды сложных алгебраических вычислений неудобен и практически не применим на производстве. На рис. 2 показана типичная схема планетарной передачи гидромотора, рассматриваемая Ан И-Каном.

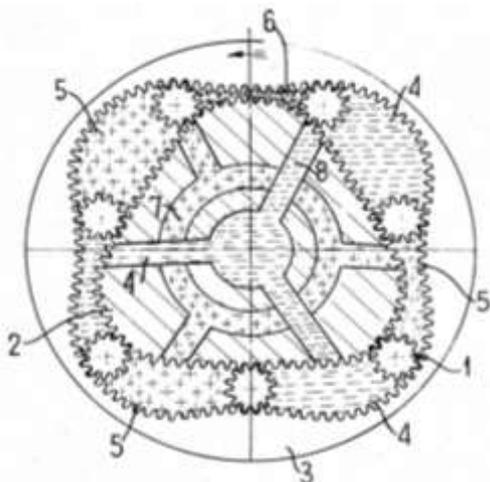


Рис. 1. Конструкция гидромотора, разработанного Bohdan Sieniawski:
1 – сателлит; 2 – внутренний кулачок;
3 – внешний кулачок; 4, 7, 8 – каналы для подачи жидкости; 5, 6 – рабочая жидкость

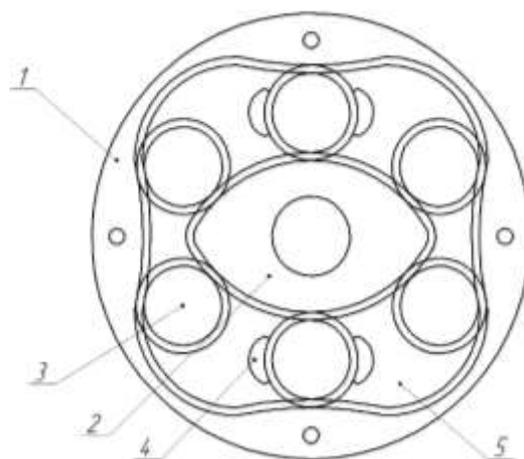


Рис. 2. Схема планетарно-роторного гидромотора, рассматриваемая Ан И-Каном:
1, 2 – солнечные колеса с внутренним и внешним колесом; 3 – сателлиты; 4 – каналы подвода и отвода жидкости; 5 – рабочие полости

Методика расчёта и проектирования планетрно-зубчатой передач, предложенная Г.Ю. Волковым [4] основана на более простых математических вычислениях (рис. 3). В основе данной методики лежит расчёт траектории движения центров сателлитов, а затем их диаметров и скоростей. Данный метод просто в реализации и применим на производстве.

В свою очередь, Dawei Li в соавторстве с Yiongping Liu, Jun Gong и Tongcheng Wang [1] предлагает снизить сложность проектирования и повысить точность изготовления шестерни за счет использования дугообразной кривой шага вместо некруглой кривой шага с постоянно меняющейся кривизной (рис. 4). На основе геометрического соотношения и передаточного отношения некругового планетарного механизма им была построена модель нелинейного программирования, а затем был спроектирован некруговой планетарный механизм. По утверждению автора, практическая эффективность разработанного им механизма не отличается от эффективности механизма, выпускаемого в настоящее время. Однако скорость составляет 100–400 об/мин. Таким образом, с учётом полученных автором результатов, а также простоты конструирования, разработанная конструкция гидромотора целесообразна в использовании на производстве.

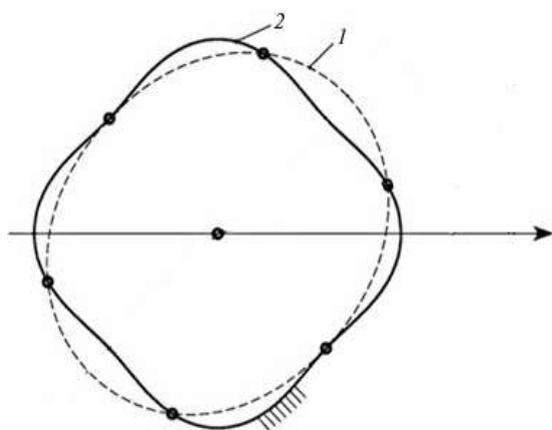


Рис. 3. Траектории движения центра сателлита (1, 2) относительно центрального колеса по методике Г.Ю. Волкова

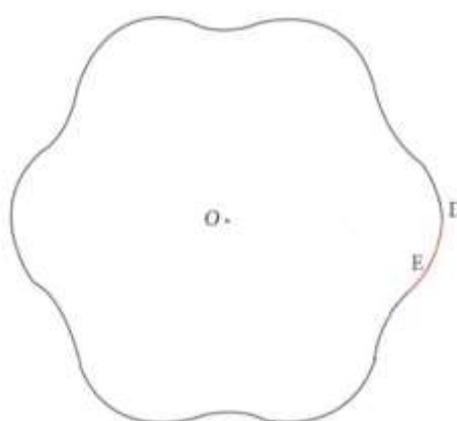


Рис. 4. Дугообразная кривая шага внутреннего зубчатого венца по методике Dawei Li: O – центр зубчатого колеса, ED – кривая шага

Таким образом были рассмотрены методы геометрического синтеза планетарно-роторных гидромашин с учетом простоты расчета и удобства производства. Тем не менее, представленные методики имеют потенциал к развитию для еще большего упрощения уже полученных методов расчета и конструирования планетарно-роторных гидромашин.

Список литературы

1. Dawei Li, Design of a Noncircular Planetary Gear Mechanism for Hydraulic Motor [Text] / Yiongping Liu, Jun Gong, Tgongcheng Wang // Mathematical Problems in Engineering. – 2021. – P. 1–9. DOI:10.1155/2021/5510521.
2. U.S. Patent No. 3852002 Gyating-cam engine, particularly as a hydraulic engine / Appl. No.: 310077: Filed: Nov. 28, 1972 / B. Sieniawski; Assignee Zaklady Urzadzen Okretowych «Hydroster». – Gdansk, Poland, 1974.
3. Ан И-Кан Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. Наук / Ан И-Кан; Томский политехнический университет. – Томск, 2001. – 236 с.
4. Волков Г.Ю. Инженерный метод геометрического синтеза планетарного механизма роторной гидромашин [Текст]/ Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов, М.В. Горбунов // Научно-технический и производственный журнал «Вестник машиностроения». – 2017. – № 10. – С. 10–15.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПЛАСТИКА НА ПРОЧНОСТНЫЕ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дороганов Д.В., студент гр. 5021.
Старший преподаватель ОмШ ИШПТ Черемискина М.С.,
Аспирант Солодовников Д.С. гр. А4-28
НИИ ТПУ, ИШЭ
e-mail: dvd25@tpu.ru

В настоящее время аддитивные технологии (технологии 3D-печати), претерпевают активное развитие и совершенствование технологий. Начиная от любительского творчества, заканчивая серьезными производственными технологиями.

В основном в 3D-печати используется три типа пластика:

1. Поли-молочная кислота (PLA).

Этот пластик отличается высокой прочностью, низкой эластичностью и средней долговечностью. Но в тоже время низкой сложностью использования, что делает его практически универсальным.

2. Акрилонитрил-бутадиен-стирол (ABS).

Отличается высокой прочностью и долговечностью, средней эластичностью и высокой способностью противостоять температуре, но такая особенность осложняет печать из данного пластика, т. к. требуется более высокая температура как сопла, так и стола, на котором печатается деталь.

3. Полиэтилентерефталат гликоль (PETG).

По своим свойствам является чем-то средним между ABS и PLA, но может отличаться своей гибкостью, прочностью, в том числе и ударопрочностью. Но этот тип пластика очень хорошо поглощает влагу, ввиду своей гигроскопичности, что значительно усложняет печать из этого пластика.

Существуют так же и другие типы пластика, но в моей работе я буду рассматривать только эти три типа.

Очень важным критерием качества напечатанной модели является не только пластик, из которого сделана модель, но также и тип заполнения детали.

Тип заполнения детали определяет не только внешний вид, но и прочностные качества изготавливаемого изделия. Существует 14 типов заполнения детали:

Сетка	Четверть куба
Линии	Концентрическое
Треугольник	Зигзаг
Шестигранник из треугольников	Крестовое
Куб	Крестовое 3D
Динамический куб	Гироид
Восьмигранник	Без заполнения

Так же еще одним важнейшим параметром печати 3D-модели, является *плотность заполнения*. Пределы этого значения соответственно от 0 до 100 %. При нулевом значении плотности деталь будет пустотелой, а при стопроцентной практически монолитной (литой).

Целью моей работы является исследование влияние материала, из которого изготовлена модель, на прочность этих моделей.

Для этого мне необходимо было выяснить как выдерживает нагрузки тот или иной пластик, поэтому нужно было создать равные условия для проведения испытаний. Было решено напечатать на 3D-принтере девять кубов размером 30×30 мм. Тип заполнения был выбран «Куб», и плотность заполнения 25 %.

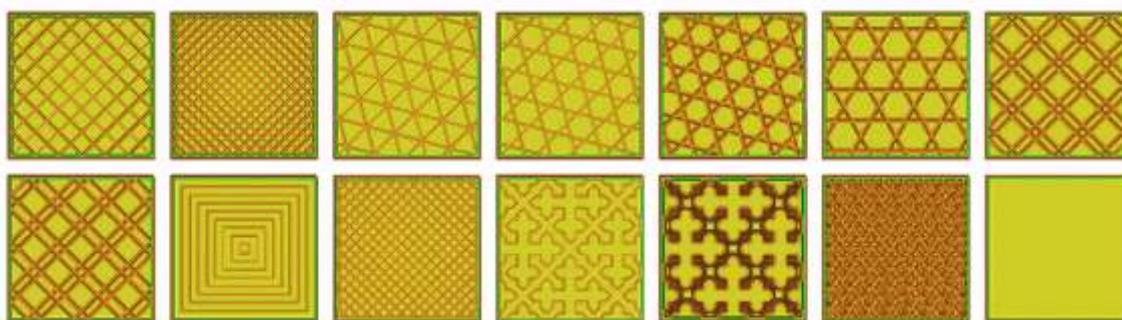


Рис. 1. Типы заполнения деталей:

1 – Сетка; 2 – Линии; 3 – Треугольник; 4 – Шестигранник из треугольников; 5 – Куб; 6 – Динамический куб; 7 – Восьмигранник; 8 – Четверть куба; 9 – Концентрическое; 10 – Зигзаг; 11 – Крестовое; 12 – Крестовое 3D; 13 – Гироид; 14 – Без заполнения

Испытания проводились следующим образом.

Каждый из кубов поочередной ставился под гидравлический пресс, при воздействии пресса выяснялись максимальные пределы нагрузки для каждого из образцов. Так же для одного из кубиков каждого из типов пластика нагрузка прилагалась на боковые грани куба. По результатам проведения опыта были получены следующие значения.

Таблица 1

Результаты испытаний

Тип пластика	№ образца	Предел нагрузки, кг
PLA	Образец № 1 (Верхние грани)	730
	Образец № 2 (Боковые грани)	730
	Образец № 3 (Верхние грани)	700
ABS	Образец № 1 (Верхние грани)	230
	Образец № 2 (Боковые грани)	0
	Образец № 3 (Верхние грани)	230
PETG	Образец № 1 (Верхние грани)	430
	Образец № 2 (Боковые грани)	43
	Образец № 3 (Верхние грани)	445

Под действием нагрузки каждый из типов пластика вел себя по-разному.

PLA:

При приложении нагрузки свыше нагрузки которую может выдержать структура заполнения кубика, кубик начинал «расплываться», при этом не происходило расслоение. Слои пластика наплывали друг на друга, как бы образуя волну. Это хорошо можно увидеть на рис. 2.

ABS:

При приложении нагрузки сверх той, которую могла выдержать структура заполнения, пластик начинал расслаиваться и расходится в разные стороны, появлялись трещины, некоторая часть пластика начинала отходить. Хотя ABS пластик считается более эластичным чем PLA, испытания показали обратный результат. Результаты воздействия нагрузки можно увидеть на рис. 3.

PETG:

При приложении нагрузки на верхние грани, поведение PETG пластика оказалось аналогичным PLA. Слои пластика начали наплывать друг на друга, но расслоения также не происходило, но при приложении нагрузки на горизонтальные грани дало противоположный результат. Как можно заметить по табл. 1, кубик не выдержал нагрузки на боковые грани, так как практически сразу же после начала приложения нагрузки разрушился на несколько осколков. Результаты воздействия видны на рис. 4.



Рис. 2. Кубики из PLA пластика после проведения испытаний



Рис. 3. Кубики из ABS пластика после проведения испытаний



Рис. 4. Кубики из PETG пластика после проведения испытаний

В ходе проведения опыта, были получены определенные значения предельной нагрузки, после превышения которой образцы подвергались пластической деформации и дальнейшему разрушению, также было получены данные о поведении каждого из трех типов пластика под нагрузкой. По результатам опыта можно прийти к выводу, что лучше всего себя показал PLA пластик.

Но стоит отметить, что как ABS, так и PETG имеют ряд преимуществ, которые не учитывались в данном опыте и их применение обусловлено другими конкретными задачами.

Список литературы

1. Заполнение в 3D-печати. Разновидности и какое выбрать? // 3DiY URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/zapolnenie-3d-pechati-raznovidnosti/#link1> (дата обращения: 11.11.2024).
2. Пластики для 3D-печати, всё что нужно знать о материалах // 3DiY URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/zapolnenie-3d-pechati-raznovidnosti/#link1> (дата обращения: 11.11.2024).

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ САТЕЛЛИТАМИ В ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Зайцева А.В.¹

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана,
Робототехника и комплексная автоматизация, ассистент
e-mail: av-zaytseva@bmstu.ru

К основным условиям работоспособности планетарно-цевочных передач следует отнести контактную выносливость рабочего профиля сателлита и выносливость опоры сателлита. Согласно [1] действующие контактные напряжения в зацеплении можно оценить по формуле:

$$\sigma_H = Z_E Z_H \sqrt{\frac{K_A K_{H_s} K_{H_\alpha} K_{H_\beta} K_{H_v} F_e z_c \pm 1}{a_p b_p z_s z_c}}, \quad (1)$$

где Z_E, Z_H – коэффициенты, учитывающие материал и геометрию передачи, $K_A K_{H_s} K_{H_\alpha} K_{H_\beta} K_{H_v}$ – коэффициенты нагрузки, F_e – номинальная окружная сила на эксцентрик, a_p – делительный диаметр обоймы с цевками, b_p – ширина сателлита, z_s – число сателлитов, z_c – число зубьев сателлита, знак «+» соответствует эпициклоиде, знак «-» соответствует гипоциклоиде.

Оба условия работоспособности передачи существенно зависят от распределения нагрузки между элементами передачи. общепринятая методика расчета [2–4] предполагает распределение нагрузки между сателлитами равномерным. Однако, в результате численного моделирования [5] было показано, что нагрузка, передаваемая сателлитами не одинаковая. Долю крутящего момента, передаваемую каждым сателлитом, можно оценить коэффициентом K_{H_s} неравномерности распределения нагрузки между сателлитами.

В планетарно-цевочной передаче типа KHV присутствует один эксцентриковый вал, соосный выходному валу, а момент с сателлита снимается при помощи механизма параллельных кривошипов (рис. 1).

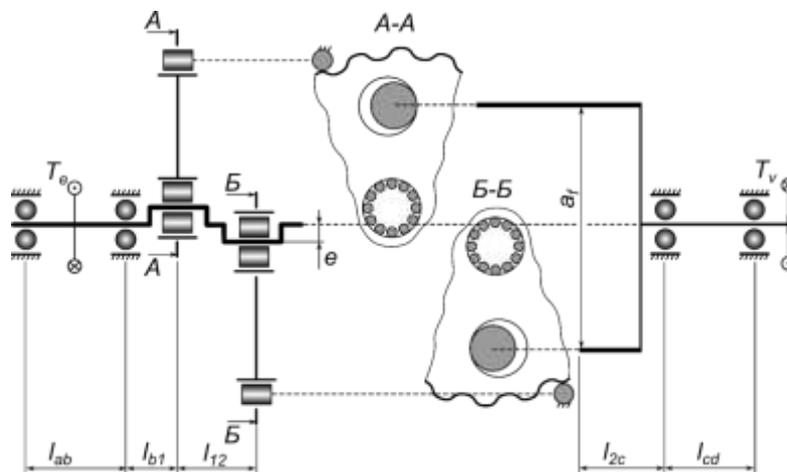


Рис. 1. Расчетная схема планетарно-цевочной передачи типа KHV

Угол поворота эксцентрикового вала φ для передачи KHV выполненной с зазорами можно найти по следующей формуле (2):

$$\varphi \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \left[\frac{1}{c_p e^2 z_c^2} \mathbf{E} + \left(\frac{1}{e^2 z_c^2} + \frac{4}{a_f^2} \right) \mathbf{A} + \frac{4}{a_f^2} \mathbf{B} \right] \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где c_p – контактная жесткость, \mathbf{E} – единичная матрица, a_f – делительный диаметр механизма параллельных кривошипов, T_1, T_2 – крутящие моменты на сателлитах, k_λ – коэффициент, зависящий от λ коэффициента укорочения циклоиды.

Для несимметричной компоновки (консольное расположение эксцентрикового вала и механизма параллельных кривошипов) матрицы \mathbf{A} и \mathbf{B} могут быть определены следующим образом:

$$A_{ij} = \left(\frac{l_{bj}l_{bi}}{c_a l_{ab}^2} + \frac{l_{aj}l_{ai}}{c_b l_{ab}^2} + \frac{l_{abl_{bj}l_{bi}}}{3EI_m} + \frac{l_{bj}^2(3l_{bi}-l_{bj})}{6EI_e} \right) \cos(\gamma_i - \gamma_j) + \frac{\delta_{ij}}{c_i};$$

$$B_{ij} = \left(\frac{l_{cj}l_{ci}}{c_d l_{cd}^2} + \frac{l_{aj}l_{ai}}{c_c l_{cd}^2} + \frac{l_{cd}l_{cj}l_{ci}}{3EI_v} \right) \cos(\gamma_i - \gamma_j) + \frac{l_{cd}a_f^2}{4GI_{pv}} + \left(\frac{l_{ci}^3}{3EI_f} + \frac{1}{c_f} \right) \delta_{ij}.$$

Для передачи KHV выполненной без зазоров угол поворота эксцентрикового вала φ может быть определен из уравнения

$$\varphi \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \left[\frac{4}{z_p c_p e^2 z_c^2} \mathbf{E} + \frac{1}{e^2 z_c^2} \mathbf{A} + \frac{4}{a_f^2} \mathbf{B} + \left(\frac{2}{a_f} - \frac{k_\lambda}{e z_c} \right)^2 \mathbf{H} \mathbf{A} \right] \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \end{pmatrix},$$

где матрица \mathbf{H} задана следующим соотношением:

$$\mathbf{H} = \left[\mathbf{E} + \frac{z_p c_p}{4} (1 - k_\lambda^2) \mathbf{A} \right]^{-1}.$$

Коэффициент K_{Hs} неравномерности распределения нагрузки между сателлитами может быть определен по формуле

$$K_{Hs i} = \frac{T_i z_s}{T} = \sum_{j=1}^{z_s} C_{ij}^{-1} / \sum_{j=1}^{z_s} \sum_{k=1}^{z_s} C_{jk}^{-1}.$$

Для верификации предложенного метода расчета K_{Hs} коэффициента неравномерности распределения нагрузки между сателлитами был проведен эксперимент, в котором при приложении нагрузки замерялись перемещения сателлитов. Экспериментальная установка была выполнена на базе редуктора фирмы «БЕЛРОБОТ». Сравнение результатов полученных экспериментально и при помощи аналитической модели представлены на рис. 2. Розовой линией показаны результаты аналитического расчета для передачи типа KHV , выполненной с зазорами, красной линией показаны результаты аналитического расчета для передачи типа KHV , выполненной без зазоров, зелеными линиями показан разброс значений, полученный в ходе экспериментов.

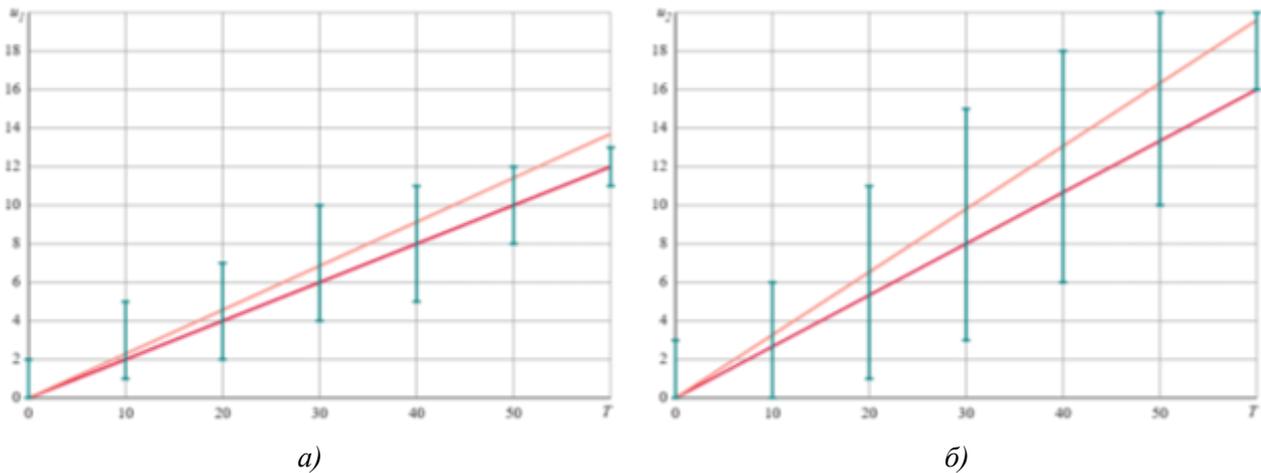


Рис. 2. Верификация аналитической модели расчета коэффициента K_{Hs}
а – перемещения первого сателлита (ближайшего к двигателю) u_1 в зависимости от прикладываемого момента T , б – перемещения второго сателлита u_1 в зависимости от прикладываемого момента T

Как видно из рис. 2, расхождение расчетных и экспериментальных данных незначительно. В результате работы была разработана и верифицирована аналитическая модель оценки коэффициента K_{Hs} распределения нагрузки между сателлитами. Коэффициент распределения нагрузки по сателлитам принимает значения $K_{Hs} = 1 \dots z_s$, для использованного в эксперименте редуктора фирмы «БЕЛРОБОТ» $K_{Hs} = 1,16$.

Список литературы

1. Ермолаев М.М., Зайцева А.В. Метод оценки коэффициентов нагрузки планетарно-цевочных передач. Современное машиностроение: Наука и образование 2024: материалы 13-й Международной научной конференции, 20 июня 2024 года / под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024.
2. Шанников В.М. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением. – М.: Машгиз, 1948. – 172 с.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. Л.: Машиностроение, 1966. – 308 с.
4. Lehmann M. Berechnung und Messung der Kräfte in einem Zykloiden-Kurvenscheiben-Getriebe. Dokt. Diss. Munchen, Techn. Univ., Fachbereich Maschinenwesen, 1976. – 224 p.
5. Захаров М.Н., Ермолаев М.М., Зайцева А.В. Оценка распределения нагрузки между сателлитами планетарно-цевочного редуктора. Вестник машиностроения. – 2020. – № 6. – С. 34–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РВС С ДЕФЕКТОМ ТИПА «НЕПРОВАР» УТОРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Темный Н.Д.

Аспирант ИШНПТ НИ ТПУ, Томск, Россия

Научный руководитель Гаврилин А.Н.,

доктор технических наук, профессор

НИ ТПУ, Томск, Россия

Введение

РВС (резервуары вертикального типа) являются важной составляющей нефтедобывающей промышленности. Они используются для хранения и транспортировки нефти и газа. Однако, как и любое другое техническое сооружение, резервуары вертикального хранения подвержены деформации и износу, что может привести к возникновению дефектов и повреждений.

Один из наиболее распространенных дефектов, которые могут возникнуть на резервуаре вертикального хранения, это дефект типа «непровар» уторного соединения. Этот дефект возникает в результате неправильной сварки и может привести к серьезным последствиям, таким как утечка нефти и газа, что может привести к катастрофическим последствиям.

Конечной целью настоящего исследования является повышение безопасности резервуаров и предотвращение возникновения катастрофических последствий. В связи с этим, необходимо изучить напряженно-деформированное состояние резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения и определить возможность использования таких резервуаров. Результаты исследования будут иметь практическое значение для нефтедобывающей промышленности и могут быть использованы при разработке новых методов проверки и обслуживания резервуара вертикального хранения. Кроме того, данное исследование может быть полезно для других отраслей промышленности, где используются сходные технические сооружения и оборудование. В связи с тем, что дефекты типа «непровар» уторного соединения являются распространенными и могут возникать на любых резервуарах вертикального хранения, важно изучить эту проблему и найти эффективные способы ее решения.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, РВС, дефект, непровар, уторное соединение, метод конечных элементов, прочностные испытания, контроль дефектов, безопасность эксплуатации, техническое обслуживание.

Цель исследования. Целью настоящего исследования является изучение напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи:

- Определить геометрические параметры резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения.
- Провести анализ напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения.
- Определить возможность использования резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

Методология. Для достижения цели исследования был использован метод численного моделирования напряженно-деформированного состояния резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Для этого был разработан 3D-модель резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в программном комплексе ANSYS.

Кроме того, в рамках методологии были определены граничные условия и параметры материала, необходимые для построения 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом

типа «непровар» уторного соединения. Для анализа напряженно-деформированного состояния были использованы методы конечных элементов, что позволило получить точные результаты с учетом различных факторов, включая геометрические особенности и характеристики материала.

Кроме того, в процессе методологии была проведена валидация 3D-модели резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения путем сравнения результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Это позволило убедиться в точности и корректности используемой методики и подтвердить ее применимость для анализа напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения.

Таким образом, использование метода численного моделирования в рамках данной методологии позволило получить более глубокое понимание поведения резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения в условиях нагружения. Это может быть полезным для разработки более эффективных методов контроля качества сварных соединений и повышения безопасности эксплуатации различных конструкций.

Результаты исследования. Исследование напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального хранения с дефектом типа «непровар» уторного соединения проводилось в условиях, имитирующих реальные эксплуатационные условия данного элемента техники. В результате экспериментов были получены данные о распределении напряжений в области дефекта и его окрестностях, а также о снижении максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикального хранения при наличии дефекта.

Одним из дополнительных результатов исследования является выявление зависимости между размерами дефекта и величиной снижения максимального напряжения, которое может выдержать резервуар вертикальный стальной. Было установлено, что с увеличением размера дефекта происходит более существенное снижение прочности резервуара. Эта зависимость может быть использована при разработке методов контроля дефектов в резервуаре, так как позволяет определить критические размеры дефектов, при которых прочность его снижается настолько, что его эксплуатация становится недопустимой.

Также было обнаружено, что дефект типа «непровар» уторного соединения может привести к появлению дополнительных деформаций и напряжений в других областях резервуара, что может привести к дополнительным дефектам и повреждениям. Этот результат подчеркивает важность контроля его состояния и своевременного выявления дефектов, чтобы избежать негативных последствий для безопасности и надежности техники.

Исследование также позволило выявить различия в напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения в зависимости от условий его эксплуатации. Было установлено, что эксплуатационные нагрузки и температурные режимы могут влиять на распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях, что необходимо учитывать при контроле и ремонте.

На основе результатов исследования было выяснено, что использование резервуара с дефектом типа «непровар» уторного соединения не рекомендуется, так как дефект может привести к необратимым последствиям.

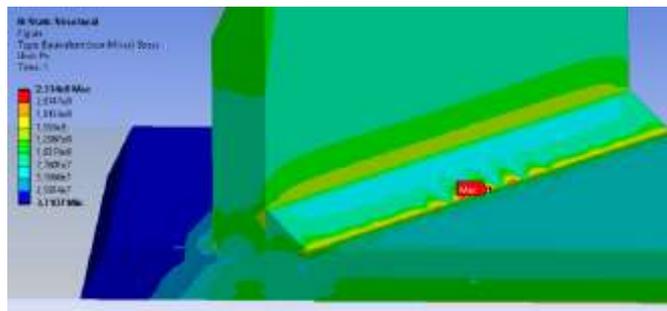


Рис. 1. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле без сварных дефектов

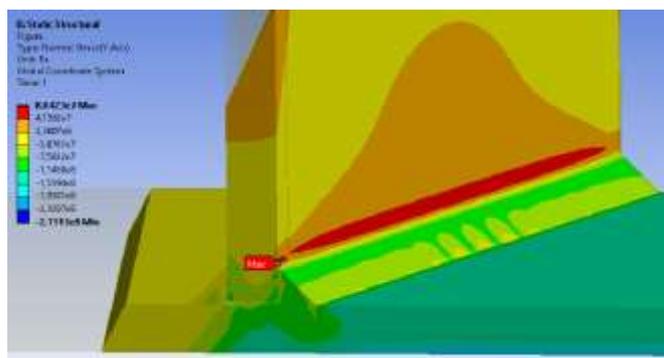


Рис. 2. Максимальные эквивалентные напряжения в уторном узле с наличием дефекта подрез стенки внутри и глубиной 1 мм

Заключение

Проведенное исследование позволило получить новые данные о напряженно-деформированном состоянии с дефектом типа «непровар» уторного соединения. Были использованы метод конечных элементов и прочностные испытания, что позволило более точно определить параметры деформации и прочности материала.

Одним из наиболее важных результатов исследования стало то, что размер дефекта существенно влияет на прочность, что было продемонстрировано на основе проведенных экспериментов. Также было установлено, что условия эксплуатации и распределение напряжений в области дефекта и его окрестностях могут оказывать значительное влияние на прочность.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что контроль дефектов в резервуаре вертикального хранения является важной задачей для обеспечения безопасности и надежности эксплуатации техники. При этом, использование новых методов и технологий позволит повысить эффективность контроля дефектов и снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Лукин В.И., Стариков С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектами // *Металлург.* – 2018. – № 3. – С. 40–45.
2. Степанов А.В., Петров В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния РВС с дефектом типа «непровар» уторного соединения // *Материалы XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы механики и математического моделирования».* – 2019. – С. 174–178.
3. Тимофеев Н.И., Гаврилов В.П. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов в условиях техногенных воздействий // *Вестник Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение».* – 2016. – № 2. – С. 12–18.
4. Чернышев Д.В., Зарецкий Ю.Н. Численное моделирование деформаций и напряжений в конструкциях // *Известия Томского политехнического университета.* – 2018. – Т. 331, № 3. – С. 19–25.

АНАЛИЗ САД-СИСТЕМ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МИРЕ

*Фань Синьюэ,
студент гр. 158Т12 НИ ТПУ*

Введение

Современные технологии автоматизации играют ключевую роль в совершенствовании проектирования и производства в самых разных отраслях. С развитием трехмерного проектирования системы автоматизированного проектирования (САПР) стали незаменимыми инструментами для создания, анализа и тестирования сложных объектов, ускорения разработки и снижения затрат. Эти системы объединяют аппаратное и программное обеспечение, а также технологии взаимодействия с пользователем, что позволяет сократить время разработки, повысить качество и снизить вероятность ошибок.

В этой статье мы познакомимся с популярными системами автоматизированного проектирования, используемыми в некоторых странах мира, проанализируем их функциональность и применение в промышленности.

Методология исследования

Для проведения исследования я использовала комбинацию анализа существующих источников информации, личного опыта и практического применения различных САД-систем. Исследование началось с анализа обзоров, технических отчетов и документации производителей популярных программ, таких как КОМПАС-3D, nano-CAD, T-FLEX CAD, AutoCAD, SolidWorks, Revit, Tianzheng CAD, HaoChen и GstarCAD.

Затем был проведен сравнительный анализ этих систем по ключевым критериям: функциональность, интерфейс и удобство использования, производительность, стоимость, поддержка и документация. Для более глубокого анализа я опиралась на собственный опыт работы с инструментами 3D-моделирования, прототипирования и расчета прочности, а также изучала отзывы пользователей, собранные через Интернет.

Анализ и результаты

При анализе систем автоматизированного проектирования, используемых в разных странах, можно выделить несколько основных тенденций, основанных на специфических потребностях пользователей, отраслевых требованиях и различиях в экономических условиях. Каждая система автоматизированного проектирования имеет свои сильные и слабые стороны, которые во многом зависят от региона, типа пользователя и уровня доступных ресурсов.

В России, например, предпочтение отдается решениям, оптимизированным под местные стандарты, таким как КОМПАС-3D и nano-CAD. В США более популярны глобальные системы, такие как AutoCAD и SolidWorks, обладающие широкими возможностями, но дорогостоящие. В Китае более доступные решения, такие как Tianzheng CAD и GstarCAD, подчеркивают экономическую эффективность и поддерживают широкий спектр отраслей.

В таблице ниже приведено краткое сравнение наиболее популярных решений САД в разных странах с указанием их ключевых особенностей.

В целом, разнообразие доступных САД-систем в мире предоставляет пользователям широкий выбор, соответствующий различным требованиям и условиям. Выбор подходящей системы зависит от множества факторов, таких как область применения, бюджет, требования к функционалу и поддержка отраслевых стандартов.

Краткое сравнение систем автоматизированного проектирования

Система	Страна	Поддержка ГОСТ	Бесплатное использование в образовании	Стоимость, тыс. руб.	Русификация	Поддержка 3D	Требования к ПК	Мощность функционала	Совместимость
КОМПАС-3D	Россия	+	+	80–150	+	+	+	+	+
nanoCAD	Россия	+	+	0–10	+	+	+	+	+
T-FLEX CAD	Россия	+	+	100–250	+	+	+	+	+
AutoCAD	США	–	–	200–300	+	+	+	+	+
SolidWorks	США	–	+	200–350	+	+	+	+	+
Revit	США	–	+	200–300	+	+	+	+	+
TIANZHENG CAD	Китай	–	–	150–250	+	+	+	+	–
Hao Chen CAD	Китай	–	+	0–10	+	+	+	+	–
Zhongwang CAD	Китай	–	–	0–10	+	+	+	+	–
GstarCAD	Китай	–	–	20–60	+	+	+	+	+
Siemens NX	Германия	–	–	300–500	–	+	+	+	+
Solid Edge	Германия	–	–	150–300	–	+	+	+	+
CATIA	Франция	–	–	300–600	–	+	+	+	+
PTC Creo	Швейцария	–	–	200400	–	+	+	+	+
ZW3D	Южная Корея	–	–	150–250	–	+	+	+	+

Вывод

Для моего обучения в России я выбрала КОМПАС-3D как основную CAD-систему для дальнейшего изучения. Этот выбор обусловлен рядом факторов. Во-первых, КОМПАС-3D обладает поддержкой ГОСТ и русификацией, что значительно упрощает работу с проектами, ориентированными на российские стандарты. Во-вторых, система предоставляет полноценные инструменты для 3D-моделирования и анализа, что является важным для освоения современных методов проектирования. Наконец, КОМПАС-3D обладает доступной стоимостью по сравнению с зарубежными аналогами, что делает её оптимальным выбором для учебных целей и для использования в российских условиях.

Список литературы

1. О российских средствах моделирования // Дизайн интерьера: Сайт: 15 лучших программ САПР: бесплатные и коммерческие.
2. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) // Сайт: Обзор популярных систем автоматизированного проектирования / ПОИНТ.
3. Информация о китайском отечественном программном обеспечении для САПР. // Сайт: <https://zhidao.baidu.com/question/723645111777367725.html>.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 3D-ПРИНТЕРЕ

*Спиненко С.М., студент гр. 4А22
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: sms26@tpu.ru*

3D-печать – это процесс создания физического объекта из трёхмерной цифровой модели или модели САПР. Он включает в себя различные компьютерные технологии, в которых материал соединяется или затвердевает для создания реального объекта.

Благодаря технологиям 3D-печати существует возможность восстановления зубчатого колеса в механизме.

Метод восстановления зубчатых колес на 3D-принтере:

1. Сканирование и моделирование.

Сначала создается 3D-модель зубчатого колеса. Это можно сделать методом измерения всех параметров зубчатого колеса и последующего его моделирования, или же можно отсканировать зубчатое колесо и провести его «восстановление» в программе САПР.

2. Подготовка модели.

После создания 3D-модели необходимо оптимизировать ее для печати. Выбор материала будет зависеть от условий прочности, износостойкости и температурной стабильности.

3. Печать.

Печать производится на одном из типов пластиковых 3D-принтеров: SLA, DLP, MJP, RJP, FDM, FFF, LCD, SLS.

4. Обработка.

После печати может потребоваться постобработка детали, такая как шлифовка или покраска, чтобы улучшить её внешний вид и функциональные характеристики.



Рис. 1. Пример печати зубчатого зацепления на 3D-принтере

Выбор материала для печати зубчатых колес на 3D-принтере.

Естественно, основной материал – это пластик. Но он может отличаться, в зависимости от поставленных целей и конечной прочности готового изделия:

1. Nylon (PA). Достаточно прочный материал. Этот филамент считается одним из самых надежных для изготовления подвижных узлов и элементов. Небольшой минус материала: он хорошо впитывает влагу. Не стоит делать шестеренки из нейлона, если принтер стоит в помещении с высокой влажностью.

2. PETG. Данный тип пластика тоже относят к высокопрочным. Он немного уступает по характеристикам нейлону. Печатники ценят его за хорошую спекаемость слоев, а также за прилипание к рабочей поверхности.

3. PLA и ABS. Эти материалы соперничают друг с другом. По эксплуатационным характеристикам они примерно равны. В основном различия касаются натренированности самого печатника. Кто-то привык к PLA и его рабочим температурам в 75 °С. Другие успешно используют ABS, нагревая материал до 105 °С.

Способ сканирования зубчатого колеса для восстановления 3D-модели.

Для получения 3D-модели может использоваться 3D-сканер. Сканеры бывают: фотограмметрические, отраженный структурированный свет, лазерные и др.

Фотограмметрия – это метод позволяет строить модели объектов на основе множества фотографий, сделанных под разным углом. Чем больше снимков – тем более детальной получится модель.

В основе метода отраженного структурированного света лежит оборудование, которое построено на принципе проецирования на сканируемый объект световой сетки. Ее искажение на объекте, которое считывается специальной камерой, позволяет получить очень точное представление о его форме.

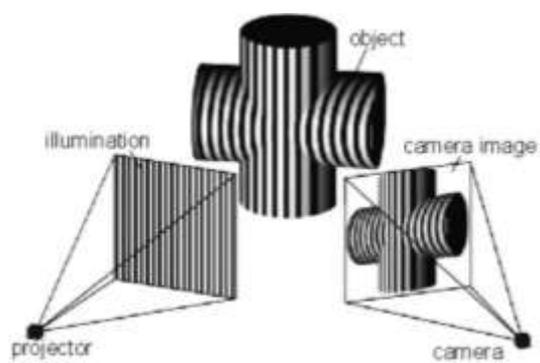


Рис. 2. Принцип работы фотограмметрического сканирования

Лазерное сканирование. Триангуляционные лазерные сканеры измеряют смещение отраженного луча, прошедшего через специальную линзу, а времяпролетные строят рельеф сканируемой детали на основе изменения задержки возврата отраженного лазерного импульса.



Рис. 3. Лазерное сканирование

Список литературы

Ресурсы удаленного доступа:

1. Как печатают шестеренки на 3D-принтере // Блог: сайт. – 2024. – URL: <https://vektor.us.ru/blog/pechat-shesterenok-na-3d-printere.html>.
2. Программы для 3D-сканирования // Блог: сайт. – 2024. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/programmy-dlja-3d-skanirovanija-obzor-i-primenenie-old.html>

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Алеев Д.С., ТПУ, ИШНПТ, 4А21,
Научный руководитель: Черемискина М.С.
e-mail: dsa28@tpu.ru

Коленчатый вал (коленвал) является одним из ключевых компонентов любого поршневого двигателя внутреннего сгорания. Также, коленвал играет решающую роль в обеспечении эффективной работы двигателя, передавая мощность от цилиндров к другим компонентам машины. Он преобразует возвратно-поступательное движение поршней во вращательное, которое через маховик и трансмиссию передаётся на колёса.

Коленчатый вал состоит из следующих частей:

1. Коренные шейки – сегменты вала, находящиеся на его оси вращения.
2. Шатунные шейки – сегменты вала, смещённые относительно его оси вращения и коренных шеек. Служат для крепления шатунов с поршнями и воспринимают передаваемое от них усилие.
3. Щёки коленчатого вала – как правило, округлые или эллиптические диски, служащие для соединения коренных и шатунных шеек. В щёки также интегрированы противовесы, предназначенные для снижения уровня вибраций ДВС.
4. Носок – передняя часть коленвала, к которой крепится звёздочка или шкив привода газораспределительного механизма и вспомогательных систем.
5. Хвостовик (фланец маховика) – задняя выходная часть коленвала, соединённая с маховиком, а через него – с трансмиссией.
6. Масляные каналы – система полостей во всех шейках и щеках вала для подачи масла к трущимся частям.

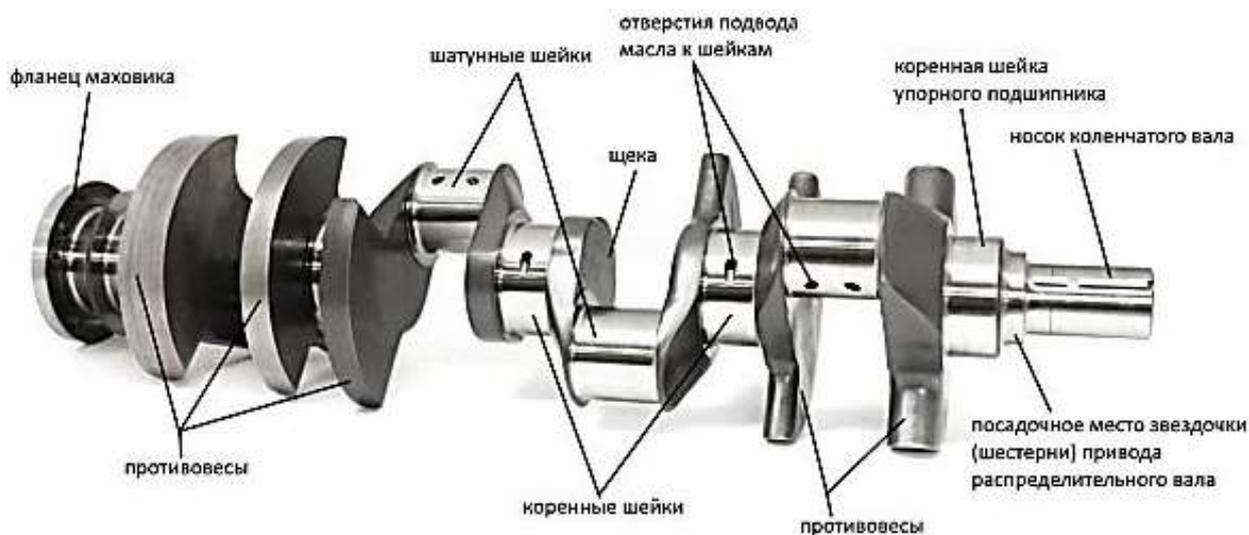


Рис. 1. Устройство коленвала

Для изготовления коленчатых валов используют разные материалы. Стальные валы получают ковкой, а чугунные – литьём. Для получения наиболее точных результатов балансировки коленвала рекомендуется отдельно отбалансировать маховик, коленвал и корзину, на втором этапе провести балансировку системы «вал+маховик», а затем – окончательную балансировку всего коленвала в сборе («маховик+коленвал+корзина»). Для проведения балансировки рекомендуется обратиться к специалисту.

Моделирование коленчатого вала в Компас происходит по средствам поэтапного создания эскизов и выдавливания элементов.

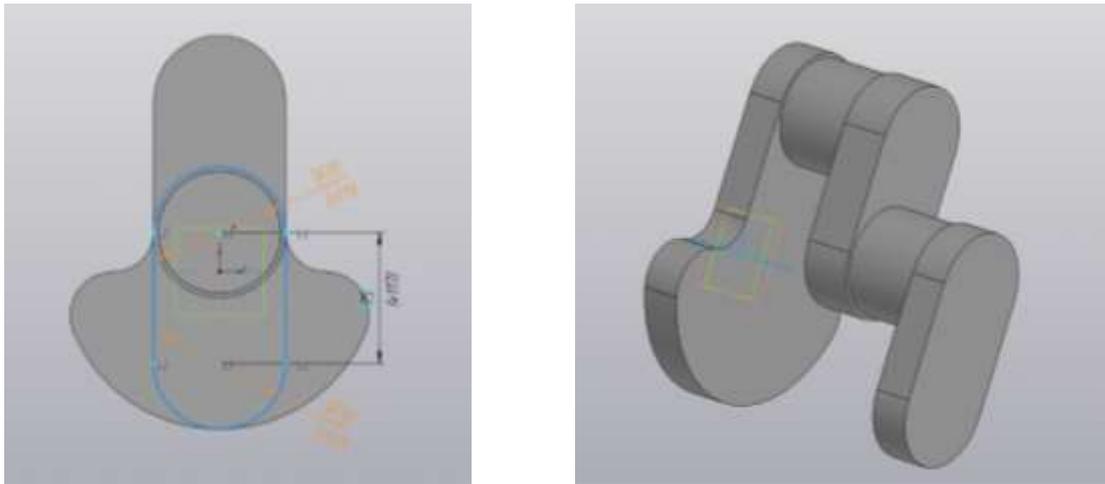


Рис. 2. Поэтапное моделирование

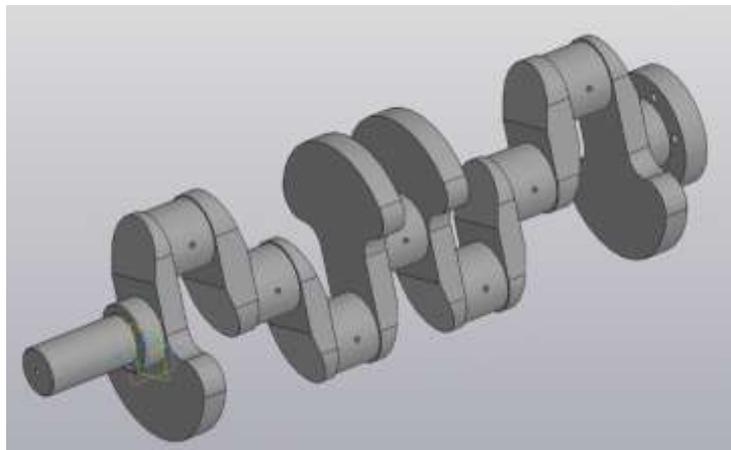


Рис. 3. Модель коленчатого вала

Вал имеет повторяющуюся геометрию, поэтому можно воспользоваться командой «Спроецировать объект», выбрать нужный эскиз и тем самым он спроецируется в нужную плоскость, далее выделив эскиз и используя команду «Повернуть», выбрав угол поворота 180 градусов можно получить следующую часть вала. Коленчатый вал, элементы которого симметричны относительно центра, можно получить смоделировав половину детали, а затем используя команду «Массив по сетке – Зеркальный массив» получить вал полностью.

Список литературы

1. Кулаев Д.Х. Динамика кривошипно-ползунного механизма с зазорами в шатунных подшипниках // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2009.
2. Орлин А.С., Круглов М.Г. и др. (Ред.). Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. – Москва, 1984.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЯТИОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК БЕЗКОНСОЛЬНОГО ТИПА

*Андропова А., Братченко Т.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4НМ41
e-mail: aaa164@tpu.ru
e-mail: tsb10@tpu.ru*

*Крауиньш Д.П., к.т.н., доцент ОМШ ТПУ,
e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru*

Аннотация

В данной статье представлены конструктивные решения, применяемые при проектировании малогабаритного фрезерного пятиосевого станка безконсольного типа. Изложено краткое описание, назначение, ключевые отличия и области применения, а также достоинства и недостатки. Авторами предлагается разработка малогабаритного фрезерного станка с автоматической сменной инструмента, оснащенного крестовым и поворотным столом.

Ключевые слова: малогабаритные станки, фрезерные станки, компоновка станка, пятиосевой станок.

Введение

В современном мире технологии играют ключевую роль в развитии различных отраслей промышленности. Одним из важных направлений является создание и усовершенствование оборудования для обработки материалов, которое позволяет повысить эффективность производства и качество выпускаемой продукции. В данной статье рассмотрены конструктивные решения, применяемые при проектировании малогабаритного фрезерного станка безконсольного типа.

Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки малогабаритных моделей станков, которые будут сочетать в себе компактность, многофункциональность и высокую точность обработки. Также данная разработка актуальна за счет необходимости обработки мелких деталей без загрузки основного производственного оборудования. Наличие данной модели станка на производстве существенно сократит подготовительно-заключительное и вспомогательное время.

Пятикоординатный фрезерный станок с ЧПУ является многоцелевым фрезерным станком с вертикальным расположением шпинделя модели GDL80-20-24Z/2.2, который обладает асинхронным двигателем с возможностью регулировки оборотов от 5000–24000 об/мин. Шпиндель GDL80-20-24Z/2.2 представлен на рис. 1.

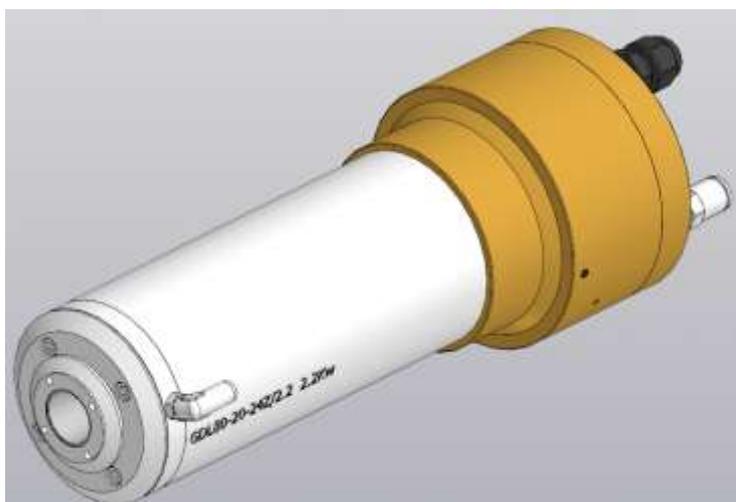


Рис. 1. Шпиндель GDL80-20-24Z/2.2

Основные характеристики шпинделя представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики шпинделя GDL80-20-24Z/2.2

Тип двигателя	Асинхронный
Напряжение ток	220 В
Номинальный ток	6,8 А
Номинальная мощность	2,2 кВт
Скорость вращения	24 000 об/мин
Охлаждение	Жидкостное

Также малогабаритный станок оснащен столом, который перемещается по осям X, Y, C. Шпиндель имеет возможность перемещаться по осям Z, B. Преимущество настройки данного горизонтального обрабатывающего центра заключается в том, что обработка шпинделя является очень гибкой [1, 2]. Схематическое описание малогабаритного пятиосевого фрезерного станка представлен на рис. 2.

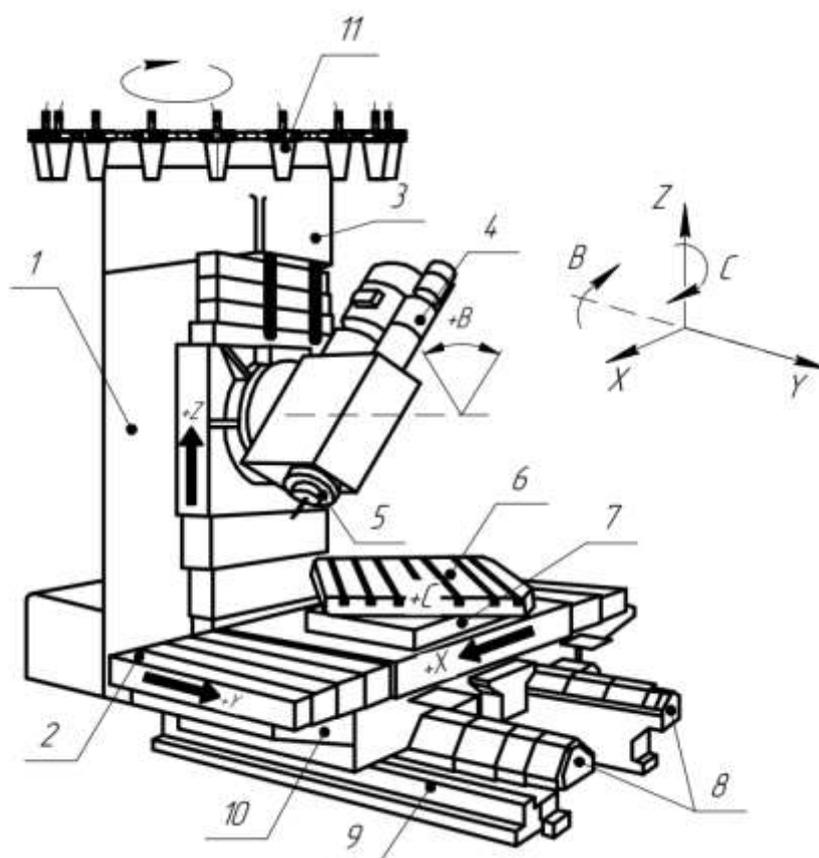


Рис. 2. Эскиз малогабаритного пятиосевого фрезерного станка:

- 1 – стойка; 2 – телескопические щитки защиты направляющих крестового стола;
 3 – телескопические щитки защиты вертикальных направляющих; 4 – шпиндельная головка;
 5 – шпиндель; 6 – поворотный стол; 7 – крестовый стол; 8 – щитки направляющих салазок;
 9 – основание; 10 – салазки; 11 – магазина на стойке

В том числе, в данной модели малогабаритного станка было разработано устройства автоматической смены инструмента при расположении магазина на стойке. Инструментальный магазин, без его механизмов установки в заданное положение смены инструмента, представлен на рис. 3.

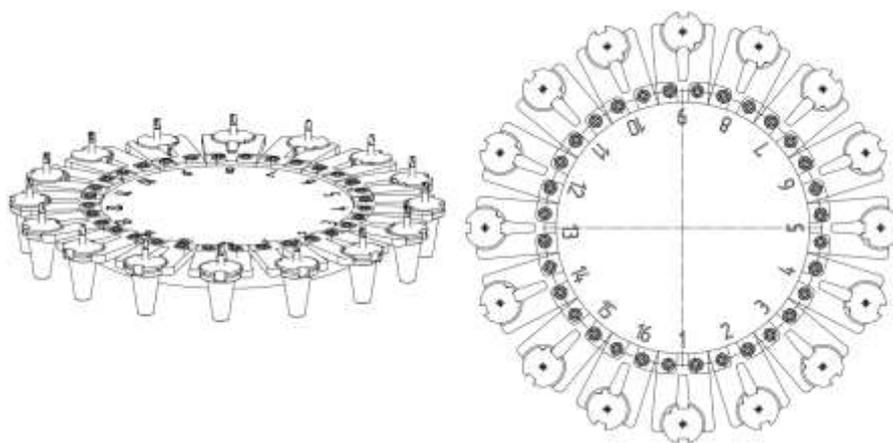


Рис. 3. Инструментальный магазин малогабаритного фрезерного станка



Рис. 4. Предварительная твердотельная модель инструментального магазина малогабаритного фрезерного станка

Подобная компоновка фрезерного станка позволяет изготавливать детали размерами $100 \times 100 \times 100$ более точно, а также даёт возможность выполнять детали сложной формы (рис. 4).

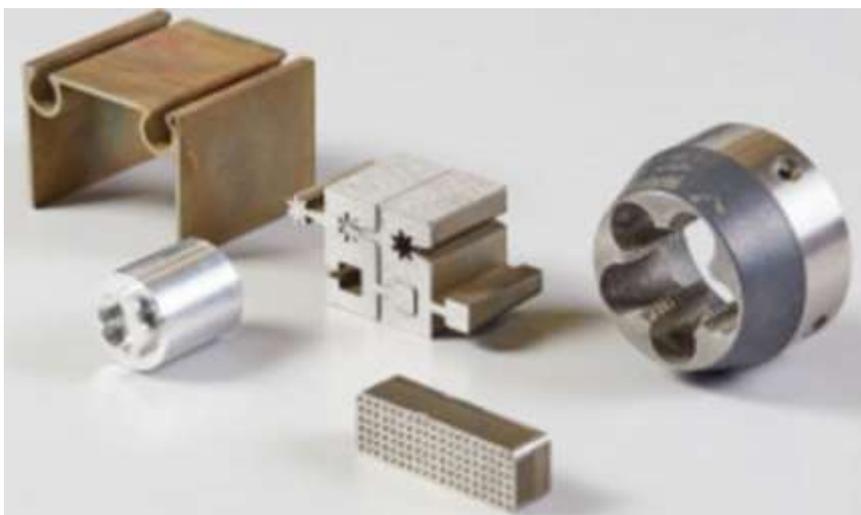


Рис. 4. Пример выполненных деталей сложной формы на малогабаритном фрезерном станке

Малогобаритные пятиосевые фрезерные станки могут быть применены для изготовления деталей в авиационной, космической и автомобильной промышленности, а также в производстве медицинского оборудования, ювелирных изделий, электроники и научных исследованиях [3].

Малогобаритные станки обладают рядом преимуществ, которые делают их востребованными в различных областях деятельности [4]:

1. Небольшие размеры станков позволяют легко перемещать их и размещать даже в ограниченном пространстве.
2. Малогобаритные станки обычно потребляют меньше энергии, чем более крупные модели, что снижает операционные расходы.
3. Несмотря на свои небольшие размеры, малогобаритные станки способны выполнять широкий спектр операций по обработке материалов.
4. Современные малогобаритные станки оснащены системами ЧПУ, которые обеспечивают высокую точность и повторяемость операций.
5. Интерфейс малогобаритных станков не отличается от стандартных, что позволяет легко управлять ими опытным операторам, привыкшим к работе со стандартным оборудованием. Это также даёт возможность использовать широкий спектр программного обеспечения и инструментов для настройки и мониторинга работы станка.

Недостатки малогобаритных пятиосевых фрезерных станков:

1. Из-за своих небольших размеров и ограниченной функциональности малогобаритные станки могут иметь меньшую долговечность и надёжность по сравнению со стандартными станками.
2. В сравнении со своими более крупными аналогами малогобаритные станки часто обладают меньшей мощностью, что ограничивает их способность обрабатывать более твёрдые материалы.
3. Несмотря на то что некоторые компоненты станка могут быть проще заменить или отремонтировать из-за их доступности, другие части могут оказаться труднодоступными, что усложнит процесс технического обслуживания.

Список литературы

1. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. Основы компонетики. – СПб.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Иванов И.И., Воронов С.А., Киселев И.А. Моделирование динамики фрезерования с управлением скоростью вращения шпинделя. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1 2015 г.
3. Черпаков Б.И., Альперович Т.И. Металлорежущие станки: учебник для нач. проф. образования. – М.: Академия, 2003. – 288 с.
4. Пуш В.Э., Беляев В.Г., Гаврюшин А. А. и др. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов / под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ – СТУПЕНЧАТЫЙ ВАЛ

*Анисимов Н.А., группа 4А21
Черемискина М.С., старший преподаватель
ИШНПТ ТПУ
e-mail: naa40@tpu.ru*

Вал – важнейшая деталь двигателя и других механизмов, передающих или принимающих крутящий момент. Также деталь используется как опора крутящихся узлов. Вал должен выдерживать значительные силовые нагрузки, воздействующие на него установленных устройств или опорных частей.

Ступенчатый вал – Отличием этого вида вала является то, что он имеет участки, имеющие разный диаметр. На шейках вала могут присутствовать шлицы, шпоночные канавки, резьба.

Ступенчатые валы очень востребованы в современном машиностроении, они применяются в редукторах, компрессорах, станках, двигателях. Так же используются в области авиации и приборостроения.

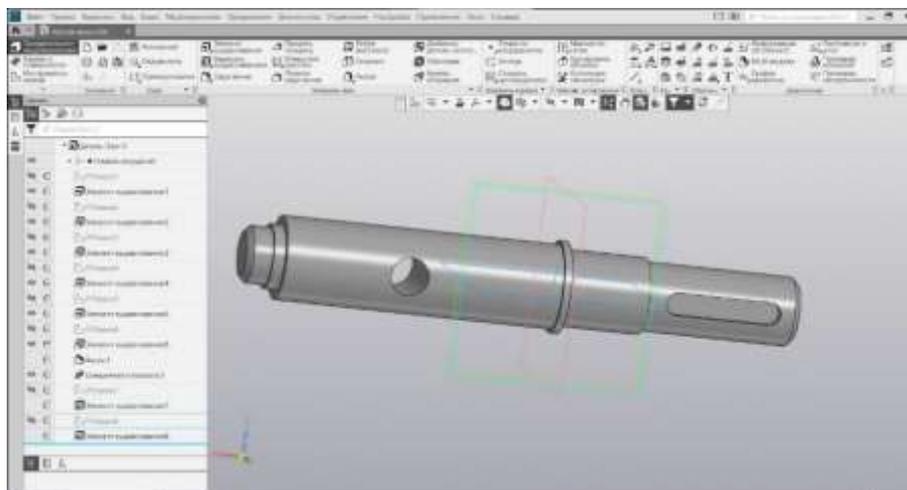


Рис. 1. Пример конструкции ступенчатого вала (в Компас-3D)

Правильная конструкция ступенчатого вала – это основа для непрерывной, долговечной и безопасной работы механизма. Она должна включать в себя надежность, жесткость и прочность.

Современные технологии давно позволяют конструировать рассчитывать валы не вручную, а с помощью САЕ и САD программ, таких как: Компас 3D, SolidWorks, Autodesk Inventor и др. В данных программах можно создавать валы разных размеров и сечений, так же есть возможность использовать разные материалы, применять разные типы нагрузки (осевые, радиальные, крутящие моменты, вибрации, ударные нагрузки) и т. д. Эти программы позволяют задавать различные режимы работы, например статический режим, динамический режим или циклический. Они предоставляют большой функциональный спектр, для реализации проекта любой сложности и уровня.

Ступенчатые валы проверяют на выносливость по контактным напряжениям. Проверку на выносливость проводят для того, чтобы определить долговечность вала и предотвратить внезапное разрушение во время эксплуатации. Цель – убедиться, что вал выдержит предполагаемые нагрузки в течение заданного срока службы без появления усталостных трещин или разрушения.

Расчет валов в современных программах позволяет увидеть характер и степень нагрузки, что крайне необходимо для конструкторов. Нагрузки бывают разных типов: с изгибными напряжениями, крутящими, осевыми, остаточные, термические. Для оценки прочности и долговечности вала необходимо учитывать все виды напряжений и использовать соответ-

ствующие методы расчета. Результаты расчета напряжений отображаются в виде цветowych карт, где различные цвета соответствуют различным уровням напряжений. Это позволяет визуально оценить, где в валу возникают максимальные напряжения, и определить критические зоны. С помощью визуализации напряжений внутри вала, можно произвести проверку прочности вала, путем сравнения максимальных напряжений.

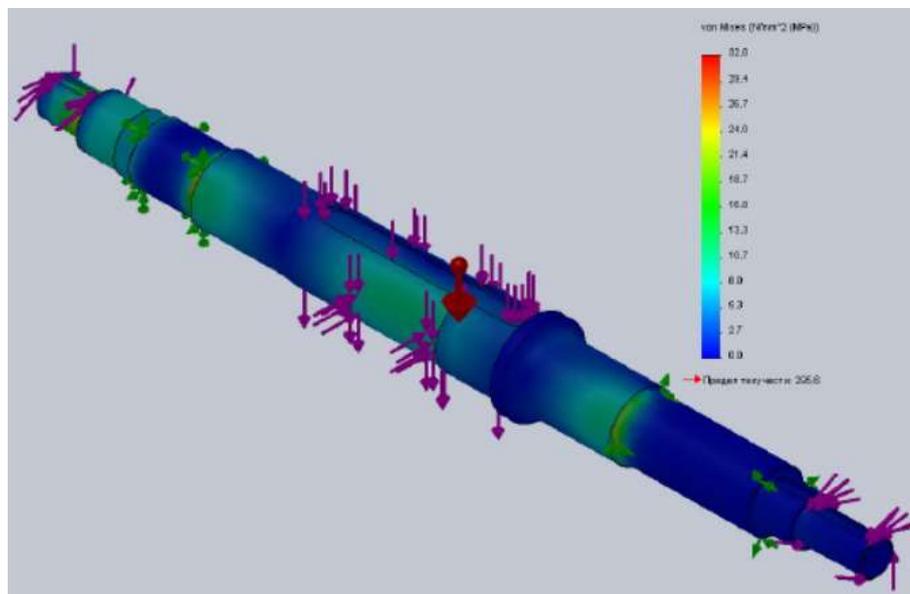


Рис. 2. Пример нагружения вала (в SolidWorks)

Современные CAE и CAD-программы предоставляют инженерам мощные инструменты для проектирования и анализа ступенчатых валов, позволяя моделировать различные нагрузки и визуализировать распределения напряжений. Проверка на прочность и выносливость, включая анализ контактных напряжений, является обязательным этапом, гарантирующим долговечность вала и предотвращающим его преждевременный выход из строя. Таким образом, использование современных программных средств в сочетании с тщательным анализом позволяет создавать надежные и долговечные конструкции ступенчатых валов, критически важных для бесперебойной работы различных механизмов.

Список литературы

1. Вал ступенчатый / [Электронный ресурс] // ПРОМТРАНСМАШ: [сайт]. – URL: <https://ptm-mash.ru/val-stupenchatyj.html> (дата обращения: 17.11.2024).
2. Расчет вала редуктора / [Электронный ресурс] // Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ: [сайт]. – URL: <https://kisssoft.compmechlab.ru/article/raschet-vala-reduktora> (дата обращения: 17.11.2024).
3. Власенко Д.М., Красовский С.А. Повышение долговечности валка валковых дробилок на основе анализа условий нагружения / Власенко Д.М., Красовский С.А. [Электронный ресурс] // CYBERLENINKA: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-dolgovechnosti-valka-valkovyh-drobilok-na-osnove-analiza-usloviy-nagruzheniya/viewer> (дата обращения: 17.11.2024).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ В РЕВЕРСИНЖИНИРИНГЕ

Будаев В.Е.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А22,
e-mail: veb12@tpu.ru

Зубчатое зацепление является важным элементом многих механизмов, передающих вращающий момент между валами. Модуль зубчатого зацепления – это параметр, определяющий размер зубьев на зубчатом колесе. Он используется для расчета размеров и геометрии зубьев, а также влияет на их взаимодействие в процессе работы передачи. В реверс инжиниринге, который включает восстановление и реконструкцию деталей, точное определение модуля зубчатого зацепления необходимо для восстановления изношенных или устаревших механизмов, а также для создания новых или улучшения существующих конструкций.

Теоретическая основа. Модуль m зубчатого зацепления вычисляется как отношение диаметра делительной окружности d к числу зубьев z :

$$m = \frac{d}{z},$$

где d – диаметр делительной окружности (мм); z – количество зубьев на колесе.

Этот параметр определяет размер зубьев и влияет на такие характеристики, как шаг зуба, угол давления и прочность зацепления. Модуль используется для расчета всех параметров зубчатого зацепления и выбора зубьев для механизмов с заданными параметрами.

Области применения в реверс инжиниринге

1. **Импортозамещение и восстановление отечественных аналогов.** В условиях импортозамещения важным аспектом является восстановление и производство компонентов, которые ранее импортировались из-за рубежа. Реверс инжиниринг позволяет точно определить модуль зубчатого зацепления и изготовить детали для механических систем, используя локальные материалы и технологии.

2. **Модернизация существующих механизмов для увеличения ресурса и снижения зависимости от импорта.** В условиях экономической нестабильности или санкционных ограничений модернизация существующих механизмов через реверс инжиниринг позволяет не только заменить устаревшие или изношенные части, но и улучшить их характеристики, что также способствует повышению их ресурса. Определение модуля зубчатого зацепления в таких случаях помогает адаптировать компоненты для замены импортных аналогов, снижая зависимость от иностранных поставок.

3. **Проектирование и производство новых передач с учетом локальных стандартов.** Одной из целей реверс инжиниринга является адаптация оборудования под локальные стандарты и технологии. Это актуально при проектировании новых зубчатых передач для отечественного производства, когда важно использовать материалы, доступные в России и других странах СНГ.

4. **Ремонт импортных механизмов.** Для восстановления или ремонта сложных механизмов, например, в аэрокосмической или автомобильной промышленности.

Различия в определении модуля в разных странах. Модуль зубчатого зацепления может рассчитываться по-разному в зависимости от системы измерений, принятой в разных странах. В большинстве стран используется метрическая система, однако в США и Великобритании применяется дюймовая система, что требует использования различных методов расчета и перевода значений.

1. СНГ и Россия. В СНГ и России используется метрическая система, где модуль измеряется в миллиметрах. В этих странах применяется стандарт ISO, и при проектировании зубчатых колес преобразований между системами не требуется.

2. США и Великобритания. В США и Великобритании используется дюймовая система. Вместо модуля здесь применяется диаметральный шаг (диаметр делительной окруж-

ности, выраженный в дюймах, деленный на количество зубьев). Диаметральный шаг P и модуль m связаны через формулу:

$$p = \frac{25,4}{m}.$$

Для перевода модуля из миллиметров в дюймы используется коэффициент 25,4.

Например, если модуль составляет 4 мм, то для США и Великобритании он будет равен 0,1575 дюйма.

Стандартные значения диаметрического шага в США и Великобритании:

- Fine Pitch (мелкий шаг) – 48 зубьев на дюйм ($P = 48$) – $m \approx 0,529$;
- Standard Pitch (стандартный шаг) – 32 зуба на дюйм ($P = 32$) – $m \approx 0,794$;
- Coarse Pitch (крупный шаг) – 16 зубьев на дюйм ($P = 16$) – $m \approx 1,588$;
- Very Coarse Pitch (очень крупный шаг) – 8 зубьев на дюйм ($P = 8$) – $m \approx 1,588$.

В странах Европы и Азии также используется метрическая система и стандарты ISO

Учет изменений при производстве аналогичной детали. После перевода параметров важно учесть несколько аспектов, чтобы точно создать замену оригинальному зубчатому колесу:

1. Проверка совместимости с остальными деталями: после перевода модуля и других параметров зубчатого зацепления необходимо удостовериться, что новое колесо будет правильно работать с другими компонентами системы (например, с валом, вторым колесом и т. д.). Если в системе используются другие зубчатые передачи, важно проверить передаточное число и совместимость зубьев.

2. Использование стандартных размеров зубчатых колес: В России для зубчатых колес обычно применяют стандарты, такие как ISO 54 и ГОСТ 1643-80, которые имеют свои рекомендованные значения модуля и другие параметры. В случае, если точный аналог не существует, можно использовать ближайший стандартный размер для уменьшения погрешности при замене.

3. Дополнительные корректировки при производстве: В зависимости от требований эксплуатации, зубчатые колеса могут потребовать дополнительных доработок, таких как шлифовка зубьев для повышения точности и износостойкости; термическая обработка для повышения прочности материала зубчатого колеса; корректировка углов давления для улучшения взаимодействия зубьев и уменьшения износа.

4. Материалы и технологии производства: важно выбрать аналогичные или улучшенные материалы для изготовления зубчатого колеса, чтобы оно соответствовало необходимым требованиям по прочности, износостойкости и долговечности. В зависимости от области применения, можно использовать различные стали, такие как легированные стали для повышения прочности, или нержавеющей материалы, если требуется стойкость к коррозии.

Заключение

Определение модуля зубчатого зацепления играет ключевую роль в реверс инжиниринге, поскольку позволяет точно восстановить изношенные механизмы или разработать новые зубчатые передачи с нужными характеристиками. Разные страны используют различные системы измерений для расчета модуля, что требует учета коэффициентов перевода между метрической и дюймовой системами. Точное определение модуля критично для обеспечения совместимости деталей и долговечности работы механизмов.

Список литературы

1. URL: <https://blog.iqb.ru/zg-reverse-engineering/#:~:text=и%20CAD-модель-,В%20каких%20областях%20применяется%20реверс-инжиниринг,д>
2. URL: <https://itpsl.ru/services/reverse-engineering/>
3. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0_%E2%80%94%D1%87%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%8B_ISO
4. URL: <https://detalmach.ru/spravka2125.html>
5. URL: <https://www.intuwiz.ru/calcs/pitch2m.html>

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАКРЫЛКОВ

Воробьев Д.И.
НИ ТПУ ИШНПТ, гр. 4А21
e-mail: divb@tpu.ru

Закрылок-профилированная отклоняемая поверхность, симметрично расположенная, на задней кромке крыла, элемент механизации крыла.

Закрылки предназначены для улучшения взлётно-посадочных характеристик самолёта. Выпуск закрылков на взлёте уменьшает длину разбега, скорость отрыва и взлётную дистанцию. Выпуск закрылков на посадке обеспечивает уменьшение посадочной скорости, длины пробега и посадочной дистанции.

Закрылки выполняют сразу несколько функций для улучшения аэродинамических качеств крыла и изменения ВПХ. Первая функция закрылок-обеспечения безотрывного обтекания. Это достигается с помощью применения однощелевых, двухщелевых и трёхщелевых видов выдвижных закрылков. Между хвостовой частью крыла и дефлектором при выпуске закрылков образуется профилированная щель изменяемого сечения в зависимости от угла выпуска. Таким образом, при выпущенных закрылках через две профилированные щели воздух перетекает с нижней поверхности крыла на верхнюю поверхность, увеличивая разрежение над крылом, так как прохождение потока воздуха в профилированном сужающемся канале приводит к росту скорости протекания и уменьшению статического давления. Пограничный слой подсасывается к задней кромке закрылка, задерживая образование вихрей и срыв потока с поверхности крыла, это называется «щелевым эффектом». Другая функция закрылок-увеличения коэффициента подъёмной силы и лобового сопротивления крыла за счёт изменения площади и кривизны профиля крыла.

Закрылки имеют обычно сходную с рулями и элеронами конструкцию, содержащую типовой набор конструктивных элементов-продольные балки (лонжероны), стенки, стрингеры, нервюры, концевые продольные элементы и обшивку. Наибольшую распространенность из средств механизации задней кромки крыла получили выдвижные (откатные) закрылки-однощелевые, двухщелевые и трехщелевые.

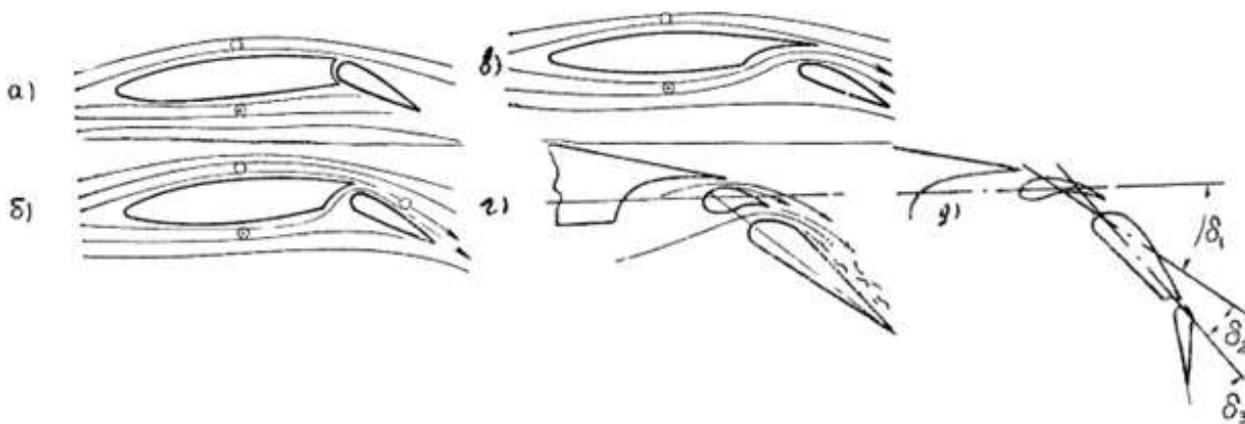


Рис. 1. Разновидности закрылок

Двухщелевой закрылок состоит из закрылка, по конструкции аналогичного однощелевому закрылку, и дефлектора. Дефлектор в миниатюре повторяет конструкцию закрылка. Он выполняется фиксированным относительно закрылка с жёсткими опорами на закрылке в передней его части или подвижным.

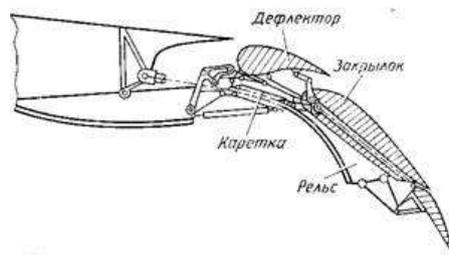


Рис. 2. Конструкция многоцелевого закрылка

Среди типов механизации наиболее простую конструкцию имеют опоры с поворотной и кулисной схемой, состоящей из комбинации известных элементов подшипниковых и рычажных узлов, тогда как в выдвижных схемах разработка направляющих рельсов вместе с каретками представляет собой сложную конструкторско-технологическую задачу.

В определении расчётных нагрузок на закрылки учитывается коэффициент, зависящий от аэродинамических характеристик крыла и углов отклонения закрылок, в отличие от расчёта предкрылков и отклоняемых щитков.

В общем случае прочность закрылков проверяется при наиболее тяжёлых условиях на взлёте и посадке. Поэтому на стадии предварительных расчётов достаточно рассмотреть режим посадки, например, для закрылков при максимальных углах отклонения на $50^\circ \dots 60^\circ$.

Навеска щитков, закрылков и предкрылков в подавляющем большинстве случаев производится по схеме балок с числом опор две и более.

Поскольку между закрылками, рулями и элеронами существует конструктивное сходство, то процесс выбора параметров у них одинаков. Если закрылки и дефлекторы выполняются преимущественно по однолонжеронной схеме, это значительно упрощает подход к их конструированию. Однако на некоторые особенности конструкций закрылков следует обратить внимание. Лонжероны закрылка, кроме типового нагружения, могут догружаться сосредоточенными силами от опор дефлекторов, приложенными непосредственно к поясам лонжеронов. Учитывая это и вид нагружения, конструировать верхний пояс двухщелевого закрылка сложнее. Для дефлектора наоборот, сложнее конструкция нижнего пояса. В случае малых размеров дефлекторов от лонжеронов отказываются вообще, компенсируя их жёсткость утолщением обшивки и уменьшением шага нервюр. Обшивка во всех случаях в конструкции закрылков и дефлекторов играет важную роль, обеспечивая не только их необходимую прочность, но и потребную жёсткость при кручении. Ее толщину из условия работы на сдвиг при кручении определяет величина крутящего момента:

$$M_{кр} = qz(x_{ц,д} - x_c), \quad (1)$$

где q – распределённая нагрузка по размаху закрылка или дефлектора; x_c – координата центра жёсткости закрылка или дефлектора; $x_{ц,д}$ – координата центра давления закрылка или дефлектора; z – расчётная погонная длина закрылка берётся равной половине наибольшего расстояния между опорами закрылка или секциями дефлектора.

Список литературы

1. Ендогур А.И. Конструкция самолетов. Конструкция агрегатов планера. – М.: МАИ, 2012. – 495 с.
2. Кокунина Л.Х. Основы аэродинамики: учебник. – 2-е изд. – 194 с.
3. Ермошина Н.Л., Попович Н.А. Конструкция самолетов и верталетов. Механизация крыла самолета ТУ-134А: метод. указания. – Оренбургский государственный университет, 2008.
4. Игнатьева А.В., Чемезов В.Л. Расчет аэродинамических характеристик самолета с механизацией крыла. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2010. – 46 с.
5. Ендогур А.И. Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов: учебное пособие. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – 540 с.

ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Гвоздев М.В.
НИ ТПУ, ИШПР, Гр.2Е31
e-mail: gmv29@tpu.ru*

Введение

Автоматическая балансировка – это процесс устранения дисбаланса в ротирующихся системах, таких как механизмы или транспортные средства, без необходимости внешнего вмешательства. Этот процесс основан на физических принципах перераспределения массы, гидродинамических или электромагнитных воздействиях для снижения вибраций и повышения эффективности работы оборудования.

Цель данной работы

Рассказать о различных типах автобалансиров. Рассмотреть преимущества и недостатки каждого

Рассмотреть инновации этой области.

В основе балансировке лежит является доказательство возможности расширения границ применения пассивных автобалансировочных устройств за счет изменения параметров механической системы, в частности за счет выбора жесткостей Основным принципом работы пассивных автобалансировочных систем является эффект «самоцентрирования», который заключается в способности подвижных корректирующих масс на определенных частотах вращения ротора принимать такое положение, которое компенсирует дисбаланс. В качестве корректирующих масс могут использоваться кольца, шары, ролики, маятники, сегменты, жидкости и сыпучие материалы. Значительный вклад в развитие теории и практики автобалансировочных устройств внесли ученые Томского политехнического университета, такие как В.П. Нестеренко, В.А. Дубовик, В.М. Замятин, Е.Н. Пашков и Г.Р. Зиякаев.

Типы автоматической балансировки

Гидродинамическая балансировка: использует жидкость, находящуюся в каналах или специальных камерах. Под воздействием центробежных сил жидкость перемещается и устраняет дисбаланс.

Применение: Турбины в энергетике. Центрифуги для медицинских или промышленных целей. Высокоскоростные станки.

Механическая балансировка гранулами или массами: Частицы свободно движутся внутри оборудования (например, колес автомобиля) и размещаются в области, где их масса компенсирует вибрацию.

Применение: Шины транспортных средств. Промышленные вентиляторы. Роторы насосов.

Электронная балансировка: Системы с датчиками вибрации и обратной связью. Устройства автоматически изменяют параметры оборудования для компенсации дисбаланса.

Применение: Авиационные двигатели. Прецизионные станки. Ракетные и космические системы.

Инновации в области автоматической балансировки

Современные подходы включают:

- Использование интеллектуальных систем на основе нейросетей, которые адаптируются к изменяющимся условиям эксплуатации.
- Применение новых материалов, таких как самовосстанавливающиеся гранулы с нано покрытием.

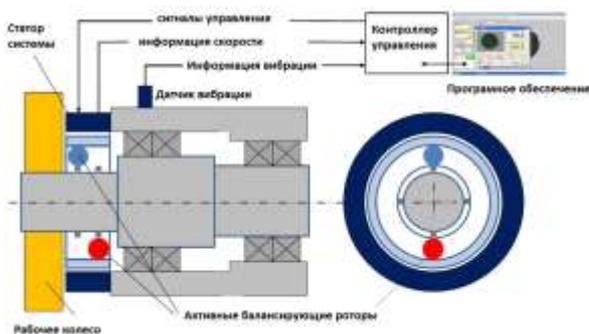


Рис. 1. Электронная балансировка



Рис. 2. Механическая балансировка

Подводя итоги

Электронная балансировка является наиболее точным и надежным вариантом. Она идеально подходит для сложных и высокоскоростных систем, где важна минимизация вибраций и точность работы. Однако из-за своей высокой стоимости и сложности применяется преимущественно в высокотехнологичных отраслях, в авиации и космосе. В тоже время самое экономически выгодное решение – это механическая балансировка использованием гранул наиболее экономически оправдана. Она – простая в установке. Не требует сложного обслуживания, эффективна для большинства приложений (особенно в автотранспорте). Этот метод идеально подходит для транспортных компаний, где требуется высокая надежность при минимальных затратах.

Тип балансировки	Преимущества	Недостатки	Примеры применения
Гидродинамическая	<ul style="list-style-type: none"> - Высокая точность балансировки - Подходит для высокоскоростного оборудования - Простота реализации в герметичных системах 	<ul style="list-style-type: none"> - Ограничения в условиях температурных перепадов - Зависимость от качества жидкости - Трудоемкое обслуживание 	Турбины, медицинские центрифуги
Механическая (гранулы)	<ul style="list-style-type: none"> - Автономная работа - Подходит для длительного использования - Простота установки и низкая стоимость - Универсальность 	<ul style="list-style-type: none"> - Возможность образования шума в некоторых системах - Ограниченная эффективность при нестабильных режимах работы 	Шины, насосы, вентиляторы
Электронная	<ul style="list-style-type: none"> - Высокая адаптивность к изменению условий - Позволяет выполнять балансировку в реальном времени - Высокая точность регулировки 	<ul style="list-style-type: none"> - Высокая стоимость - Сложность технического обслуживания - Зависимость от электроники и датчиков 	Авиационные двигатели, станки

Рис. 1. Сравнительная таблица типов автоматической балансировки

Список литературы

1. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1985. – 82 с.
2. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидким автобалансирующим устройством на гибком валу // Изв. Томского политех. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 2. – 3 с.
3. Суменков О.Ю. Автоматическая балансировка статически неуравновешенного ротора, установленного в корпусе на упругих опорах / О.Ю. Суменков // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 17–20 февраля 2020 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 286–287.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПАКОВОЧНОГО АВТОМАТА

Гуров И.А.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А32

Первый упаковочный автомат был произведен в 1952 году на молочном заводе в Лунде (Швеция), именно туда поставили первый упаковочный автомат. Он был предназначен для фасовки сливок в пакеты ёмкостью 100 мл.

Упаковочные автоматы играют ключевую роль в современных производственных процессах, обеспечивая быструю и эффективную упаковку продукции. Они используются в различных отраслях, включая пищевую, фармацевтическую, косметическую и другие.

Сам механизм упаковочного автомата устроен так что:

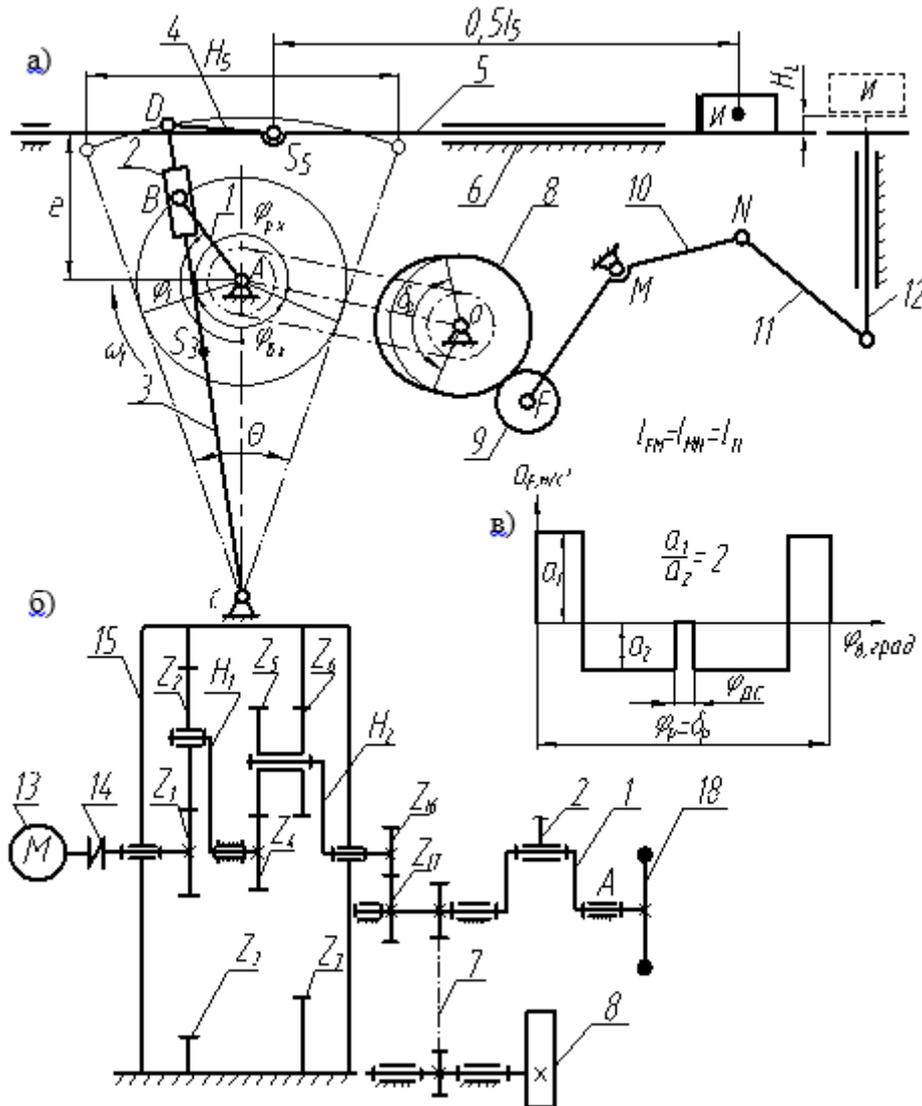


Рис. 1. Механизм упаковочного автомата

Автомат предназначен для горизонтального и вертикального перемещений упакованных изделий в автоматизированном технологическом комплексе. Коленчатый вал 1 (рис. 1, а, б) приводится в движение от электродвигателя 13 через муфту 14, планетарный редуктор 15, прямозубую зубчатую передачу Z_{16} , Z_{17} и цепную передачу 7, передаточное число которой равно

единице. На коленчатом валу 1 установлен маховик 18. Рычажный шестизвенный кулисный механизм, предназначенный для горизонтального перемещения изделия *И*, состоит из кривошипа (коленчатого вала) 1, шатуна (кулисного камня) 2, кулисы 3, шатуна 4 и ползуна 5. При рабочем ходе механизма преодолевается сила трения F_{5T} между ползуном 5, перемещаемым изделием *И*, и направляющими стойки 6. Во время вспомогательного хода (в.х.) ползуна 5 происходит вертикальное перемещение изделия *И* при помощи ползуна 12 на величину H_L . Ползун 12 через шатун 11 связан с коромыслом 10 кулачкового механизма, состоящего из кулачка 8, ролика 9 и коромысла 10. Допустимый угол давления в кулачковом механизме $[\theta] = 30^\circ$. Закон изменения ускорения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка показан на рис. 1, в.

Из чего же состоит упаковочный автомат

- **Подача материалов:** Система, которая обеспечивает подачу упаковочных материалов к рабочей зоне машины.
- **Формирование упаковки:** Механизм, который формирует упаковку из поданных материалов. Это может быть сгибание, склеивание или сварка.
- **Наполнение:** Система, которая отвечает за заполнение упаковки продуктом. В зависимости от типа упаковки это может быть автоматическая или полуавтоматическая система.
- **Запечатывание:** Механизм, который закрывает упаковку, используя различные методы (сварка, наклейка и т. д.).
- **Выход готовой продукции:** Система, которая перемещает упакованную продукцию на следующий этап производства или на склад.

Какие же преимущества использования упаковочного автомата

- **Скорость:** Автоматы способны упаковывать продукцию значительно быстрее, чем ручной труд.
- **Точность:** Высокая степень автоматизации снижает вероятность ошибок при упаковке.
- **Экономия труда:** Снижение необходимости в большом количестве рабочих рук позволяет сократить затраты на труд.
- **Универсальность:** Многие современные автоматы могут работать с различными типами упаковки и продуктов. Средняя производительность у упаковочного автомата 30–80 упаковок в минуту, в среднем 15 минут простоя, уровень брака – 5 %.

Ознакомившись с механизмом более подробно, можно и подумать о его улучшении, вот пара идей:

1. **Улучшение материалов:** Использование более прочных и легких материалов может снизить вес конструкции и увеличить ее долговечность.
2. **Программная автоматизация натяжения плёнки.** Для этого можно использовать программный модуль «Электронный редуктор». Он позволяет соединить две независимые оси любых приводов в виртуальный редуктор с входным и выходным валами с нужными частотами вращения и с необходимым передаточным числом, значение которого можно менять программно в любой момент времени.
3. **Применение смазочных материалов.** Они обеспечивают хороший разделительный эффект между упаковочным материалом и поверхностями оборудования, предотвращают налипание плёнки на термоэлементы и обеспечивают их длительную защиту.
4. **Модернизация электрической части.** Это позволяет увеличить производительность и срок службы оборудования, повысить ремонтпригодность и снизить эксплуатационные затраты.

ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА КПД ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Гынгазов В.Н., Черемискина М.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А21
e-mail: vng8@tpu.ru, mcherry@tpu.ru*

Выбор смазки играет важную роль в проектировании редуктора. Смазка защищает редуктор от износа, коррозии, высокого трения. КПД – один из важных параметров редуктора, который необходимо оптимизировать для более качественной работы машины. Как известно, в двухступенчатом редукторе КПД зависит от КПД отдельных звеньев редуктора. В данной статье будет рассматриваться именно зубчатая передача.

Потери мощности в зубчатых передачах уходят на трение, гидравлические потери, деформации зубьев, шумы и вибрации, несовершенство зацепления. Влияние этих факторов на КПД можно уменьшить, если добавить в зацепление смазочную жидкость. При смазывании поверхностей образуется гидравлический эффект. При этом эффекте образуется плёнка между зубьями. Чем толще плёнка, тем меньше прямого контакта между поверхностями, а значит меньше трения между ними. Но, с другой стороны, чем больше эта плёнка, тем больше трения между маслом и зубьями. Кинематическая вязкость – это параметр, определяющий величину этого масляного слоя, а значит и на КПД.

Температура системы «колесо, шестерня, смазка» тоже вносит свой вклад в потери энергии. Так как при нагреве деталей, их металл расширяется, то и площадь контакта увеличивается. Из-за увеличения площади контакта трение возрастает. Также высокая температура влияет на вязкость смазки, что тоже может повлиять на трение. Для регулировки температуры необходимо снижать установившуюся температуру. Это можно сделать за счёт добавления охлаждающей жидкости, тем самым избежать негативный эффект от нагрева. Также можно использовать смазку с хорошей теплоотдачей тепла. Теплоотдача тепла также зависит от вязкости смазки. Чем выше вязкость, тем выше теплоотдача.

Поэтому для максимизации КПД редуктора следует подобрать смазку с оптимальной вязкостью.

Но самого значения вязкости недостаточно для выбора смазки. Поэтому важен ещё такой параметр, как индекс вязкости. Он показывает изменение вязкости от температуры. Ниже представлена формула расчёта:

$$VI = \begin{cases} 100 \frac{L-U}{L-H}, VI \leq 100 \\ 100 + \frac{e^{\frac{\ln H - \ln U}{\ln Y}} - 1}{0,00715}, VI > 100 \end{cases}$$

где L – кинематическая вязкость масла при 40 °С с индексом вязкости 0; Y – кинематическая вязкость при 100 °С, индекс вязкости которого необходимо рассчитать, мм²/с; H – кинематическая вязкость масла при 40 °С с индексом вязкости 100, имеющего ту же кинематическую вязкость при 100 °С, что и масло, индекс, мм²/с; U – кинематическая вязкость при 40 °С смазочного материала или нефтепродукта.

Этот параметр учитывает поведение вязкости при высоких температурах. Чем больше индекс, тем меньше проявляется зависимость вязкости от температуры. Поэтому также как и для вязкости у индекса есть набор оптимальных значений.

Для червячных и конических редукторов оптимальные значение индекса вязкости 220–460 единиц, для цилиндрических 100–460.

Хоть вязкость и является основным параметром при выборе смазки, есть и другие факторы, косвенно влияющие на КПД редуктора. Смазка должна обладать антипенными, противозносными и т. д. свойствами. Эти свойства хоть и влияют больше на ресурс и функционал

механизма. Но при несоответствии этих свойств нормам, свойства смазки и форма зуба, и вследствие и кинематика зубчатого зацепления может ухудшиться, что негативно повлияет на КПД.

Определим подходящую смазку по типу базового масла. Следует отметить, что при выборе оценивается лишь влияние на КПД за счёт примерного диапазона вязкости для различных типов смазок и их свойств. Для более детального сравнения необходимо учитывать такие факторы как окружную силу в зацеплении, скорость редуктора и т. д.

Рассмотрим минеральные масла. Их индекс вязкости находится в пределах 85–120 единиц. Это говорит о неустойчивости вязкости при больших температурах, что может привести к большому трению между поверхностями. Они применимы для цилиндрических передач, так как они менее требовательны к устойчивости масла к большим изменениям температуры.

Рассмотрим синтетические масла. Их индекс вязкости находится в пределах 150–180 единиц. Это наиболее оптимальный вариант для зубчатых передач. Также стоит учитывать, что синтетическое масло выигрывает у минерального и по остальным параметрам, косвенно влияющим на сохранение свойств вязкости и на кинематику зацепления, таким как, антипенность, противоизнос. Их свойства позволяют им применяться во всех редукторах.

То есть, по типу базового масла, синтетическое масло лучше подходит для максимизации КПД, но несмотря на это минеральное масло тоже нашло обширное применение в редукторах в следствии их дешевизны.

Итак, можно заключить, что КПД является важным параметр, обеспечивающий эффективность машины. Для его повышения при выборе смазки есть много свойств, влияющих на трение, однако основным свойством является кинематическая вязкость. У синтетических масел вязкость является оптимальной для максимизации КПД. Но для более тщательного выбора масел следует учитывать и другие задачи, например, такие как поддержание надёжности, долговечности редуктора.

Список литературы

1. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. – Конструирование узлов деталей машин. – Москва – Машиностроение – 2004. С. 172–173.
2. Семёнов Ю.С. О КПД зубчатых передач при консистентной смазке // Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова. – 2004. – С. 1–2.
3. Корнеев С.В., Буравкин Р.В., Ширлин И.И., Лавриенко Н.С., Иванников А.А. Выбор трансмиссионных масел для применения в условиях отрицательных температур // Омский научный вестник. – 2013. – С. 1–2.
4. Ерошкин Н.А. Особенности окисления смазочных масел // Наука без границ. – 2016. – № 5. – С. 2.
5. ГОСТ 17479.2-2015. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. – С. 2, 7.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ

Зыков О.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4А32,
e-mail: odz2@tpu.ru

Впервые в СССР убирающееся шасси было спроектировано в 1931 г. и установлено на самолете АНТ-25, а затем в 1932–1933 гг. на пассажирском самолете ХАИ-1 и истребителях И-14 и И-16.

Существует три конструктивных схемы механизмов шасси: ферменная, балочная и подкосная. Поскольку ферменная схема используется только в легких самолетах, таких, как АН-2.

Балочный механизм

Балочный механизм используется, например, в подъемных кранах и предполагает горизонтальную решетчатую пролётную балку, на которой установлена грузовая тележка.

Кинематическая схема балочного механизма шасси представлена на рис. 1.

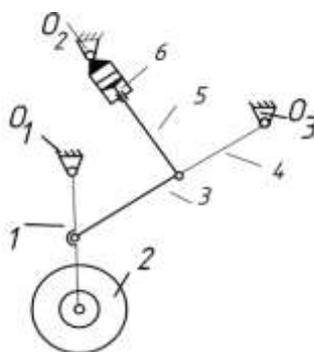


Рис. 1. Балочная конструктивная схема

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 ; коромысел 1, 4; шатуна 3; штока цилиндра 5; колеса 2 и подкос-цилиндра 6.

В этом механизме при запуске жидкости, то есть создании давления, шток 5 опускается, надавливая на складывающийся подкос 3–4, соединенный со стойкой шасси, устанавливая шасси в рабочее положение.

Подкосный механизм

Кинематическая схема подкосного механизма шасси представлена на рис. 2.

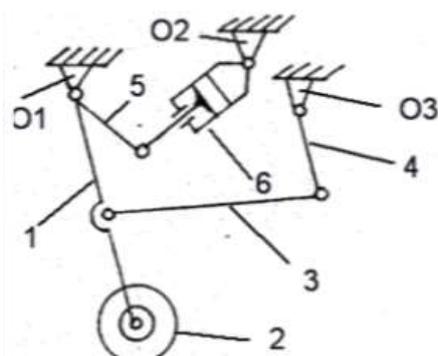


Рис. 2. Подкосная конструктивная схема

Подкосный механизм применяется в стропильных крышах, фермах и других каркасных конструкциях. Подкос – это диагональная балка, которая передаёт усилие между узлами нижнего и верхнего поясов, например, в фермах мостов, стропилах и других конструкциях. Основная функция подкосов – устранить возможность прогиба стропил.

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 ; коромысел 3, 4; шатуна 1; штока цилиндра 5; колеса 2 и подкос-цилиндра 6.

Принцип действия данного механизма довольно прост. После подачи давления в подкос-цилиндр (уборки-выпуска шасси) поршень движется вниз и передаёт своё движение стойке шасси, тем самым обеспечивая выпуск шасси из фюзеляжа.

Ферменный механизм

Ферменный механизм шасси самолётов – это простая конструкция, состоящая из нескольких неубирающихся подкосов. Используется в лёгких самолётах, набирающих небольшую скорость.

Кинематическая схема ферменного механизма шасси представлена на рис. 3.

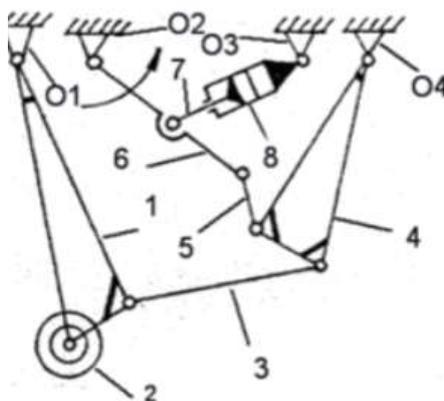


Рис. 3. Ферменная конструктивная схема

Данный механизм состоит из стоек O_1 , O_2 , O_3 , O_4 ; подкосы 1, 4; коромысел 3, 5; колеса 2; шатуна 6, штока цилиндра 7 и подкос цилиндра 8.

Принцип работы ферменного механизма шасси самолётов заключается в том, что все нагрузки воспринимает пространственная ферма, составленная из трёх или четырёх плоских ферм. Основными силовыми элементами такой конструкции, помимо стойки, являются раскосы (подкосы), расчалки и лонжероны. Стойка в ферменной конструкции фюзеляжа работает на растяжение и сжатие. Она является основным силовым элементом шасси самолёта, воспринимающим и передающим на конструкцию планера концентрированные статические и динамические нагрузки, возникающие при взлёте и посадке. В более простых ферменных конструкциях колёса монтируются непосредственно на концах поперечного трубчатого стержня, являющимся осью для колёс. В этом случае амортизация осуществляется только за счёт упругости шин.

Заключение

В данной статье рассматриваются три основные конструктивные схемы механизмов шасси самолётов: балочная, подкосная и ферменная. Анализ показал, что ферменная схема, отличающаяся простотой и используемая в лёгких самолётах, отличается от более сложных балочной и подкосной схем, применяемых в самолётах с более высокими требованиями к характеристикам. Балочная и подкосная схемы используют гидравлический привод для уборки и выпуска шасси, отличаясь друг от друга кинематикой передачи усилия. Выбор той или иной схемы определяется конструктивными особенностями самолёта, его массой, скоростными характеристиками и уровнем сложности требуемой системы уборки шасси. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию каждой из схем с учётом современных материалов и технологий, а также на разработку новых, более эффективных механизмов.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ-РЕФРИЖЕРАТОРА

*Казаков К.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4А31,
e-mail: ksk45@tpu.ru*

Авторыфрижераторы – оборудование, без которого невозможно представить многие грузоперевозки. Рефрижераторные установки необходимы для транспортировки скоропортящихся и замороженных продуктов, лекарств, цветов и многого другого. Многие грузы нуждаются в особых температурных условиях, и купить авторыфрижератор – это насущная необходимость любого грузоперевозчика, который стремится предоставить своим клиентам полный объем услуг.



Рис. 1. Внешний вид автомобиля-рефрижератора

Механизм автомобиля-рефрижератора

Механизм движения автомобиля (рис. 2) состоит из двигателя 16, раздаточной коробки 17, компрессора 22 холодильной установки, коробки скоростей 23, карданного вала 24 и ведущего моста 25, объединяющего в одном агрегате главную передачу, дифференциал и полуоси колес.

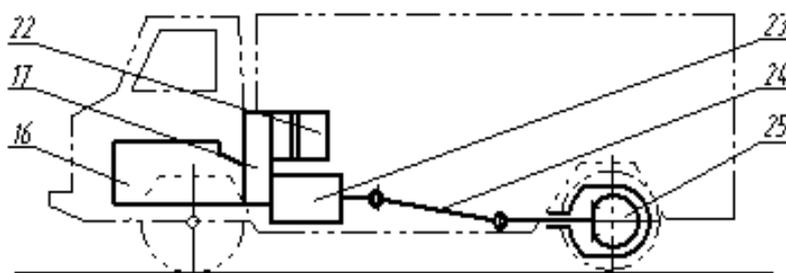


Рис. 2. Механизм автомобиля

Двигатель внутреннего сгорания четырехтактный, трехцилиндровый с вертикальным расположением цилиндров.

Характер изменения давления в цилиндрах в зависимости от хода поршня показан на индикаторной диаграмме; данные для ее построения приведены в таблице. От раздаточной

коробки через зубчатую передачу 18, 19, муфту 20 и планетарный редуктор 21, движение передается компрессору холодильной установки (рис. 3, а).

Основной механизм двигателя состоит из трех одинаковых кривошипно-ползунных механизмов, кривошипы которых размещены на общем коленчатом валу со сдвигом в 120° , а шатуны 2, 4, 6 и поршни 3, 5, 7 перемещаются в параллельных плоскостях. Рабочий ход четырехтактного двигателя совершается за два оборота коленчатого вала, а рабочие процессы в каждом цилиндре повторяются со сдвигом в 240° .

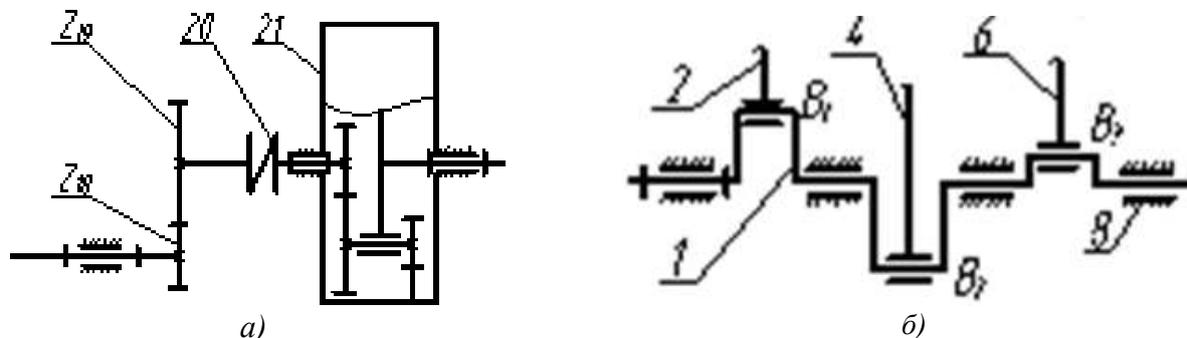


Рис. 3. Передача вращения в автомобиле

Через зубчатую передачу 14, 15 движение от коленчатого вала передается кулачковому валу 9 механизма газораспределения и подачи топлива, с поступательно движущимся толкателем Кулачковый механизм привода выпускного клапана 10–13. На рисунке дан закон изменения ускорения толкателя 11 по углу поворота кулачка.

Необходимые факторы для улучшения работоспособности:

- Выбор хладагента.
- Механическая надежность.
- Аэродинамика и теплообмен.
- Энергоэффективность.
- Автоматизация и мониторинг.
- Соответствие стандартам и регламентам.

Ремонт авторефрижераторов

Ремонт авторефрижератора – комплекс мер, направленный на восстановление способности рефрижератора к бесперебойному поддержанию необходимой температуры во время остановки и движении автомобиля.

Автомобильный рефрижератор сложная система, имеющая огромное количество узлов, поэтому для диагностики работы всех элементов этой сложной системы требуется специализированное диагностическое оборудование, которое находится в специализированных технических станциях.

Список литературы

1. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / Сысоев С.К., Сысоев А.С., Левко В.А. – Издание 3-е. – Лань, 2024. – 352 с.
3. Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (холодильные установки, оборудование и системы кондиционирования) направления подготовки 190603 Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования: учебное пособие по специальности 140504 Холодильная, криогенная техника и кондиционирование / Белозеров Г.А. и др. – Рязань, 2010.
4. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Белый В.Н. Рефрижераторный контейнер. – 2008.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

*Краснослободцев Т.В., студент гр. 4А22
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: tvk27@tpu.ru*

Повышение показателей надёжности зубчатых передач за счёт надления венцов зубчатых колес дополнительной изгибной податливостью.

По результатам анализа статистических данных по выходу из строя сельскохозяйственной техники можно сделать вывод, что около, 20 % неисправностей приходится на часть элементов трансмиссии, работоспособность которых в большей степени ограничивается зубчатыми передачами. Обзор научно-исследовательских работ и анализ условий эксплуатации дают возможность определить основные причины уменьшения эксплуатационных свойств трансмиссий сельскохозяйственной техники, связанные с кромочным контактом зубьев зубчатого зацепления. Это доказывается экспериментами и данными эксплуатации, приведёнными в работах как зарубежных, так и Российских авторов. Поэтому направление на конструктивное улучшение зубчатых передач трансмиссии, для повышения показателей надёжности сельскохозяйственной техники и увеличение производительности её работы является актуальной.

При работе в зубчатом зацеплении возникают дополнительные нагрузки из-за ошибок изготовления, монтажа деталей, деформаций зубьев, валов и их опор или условий эксплуатации. Поэтому, концентрация нагрузки у кромок зубьев обусловлена всеми возможными факторами. По мере износа элементов передачи влияние этих факторов увеличивается, ударные и вибрационные нагрузки влекут за собой перекося осей взаимодействующих колес (рис. 1, а), при этом соприжатые поверхности контактируют без нагрузки не по всей длине (рис. 1, б).

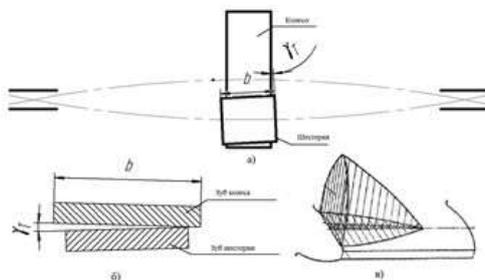


Рис. 1

Зубья деформируются при нагружении вращающимися моментами, нагрузка вдоль контактной линии распределяется неравномерно, так как перемещения сечений зуба неодинаковы (рис. 1, в). Известно, что появления трещин, сколов, усталостного выкрашивания, повышенного износа приводит наличие концентрации нагрузки у кромки зуба, которое ограничивает возможность увеличения ширины зубчатого венца.

Использование продольной модификации профиля зуба приводит к устранению «кромочного контакта» и обеспечению равномерного распределения нагрузки. При определении профиля модифицированного зуба важно учитывать изгибные деформации, деформации, возникающие при кручении, а также температурные деформации. Правильно выбранная модификация является важным условием для надёжной работы редуктора. Однако не всегда удаётся учесть размеры деформаций, а также технологические ошибки, возникающие в процессе его производства и сборки.

В связи с этим появляется необходимость создания зубчатых колес с адаптивными свойствами, которые могут компенсировать влияние как внешних, так и внутренних факто-

ров. Одна из возможностей адаптации зубчатой передачи заключается в упругой деформации зубьев колес. При этом зубья одного из колес могут обладать значительной изгибной податливостью, что обеспечивает венцу зубчатого колеса дополнительную степень свободы. Это, в свою очередь, приводит к снижению кромочного взаимодействия между зубьями колес.

Для производства передачи с адаптивными свойствами требуется оснастить ведомое зубчатое колесо тремя кольцевыми канавками, глубина которых составляет полтора модуля. Эти канавки должны быть выполнены по замкнутой винтовой линии и расположены в плоскостях, параллельных плоскостям движения колеса. Данное расположение канавок делит зубья на четыре равные части, что обеспечивает зубьям упругодеформирующие свойства, необходимые для компенсации неравномерного распределения нагрузки вдоль контактных линий. Такой подход не нуждается в использовании специализированного режущего инструмента, что позволяет сократить затраты на производство и упростить процесс изготовления.

Каждая часть зуба, находящаяся между канавками, будет функционировать как отдельное зацепление, что даёт возможность подстраиваться под изменяющиеся условия эксплуатации. Одним из основных преимуществ данной конструкции является то, что ширина прорезей не оказывает негативного влияния на площадь контакта между зубьями, обеспечивая надёжное соединение. При этом адаптивные свойства зубчатой передачи могут значительно повысить надёжность и долговечность работы механизма, особенно в условиях переменных нагрузок и механического износа. Таким образом, использование зубчатых колес с упругими характеристиками, созданных описанным образом, открывает новые горизонты для проектирования и применения передач в различных областях машиностроения, позволяя улучшить управление динамикой систем и снизить вероятность возникновения отказов.

Для подтверждения предложенной теории и проведению контактного анализа зубчатых передач с адаптивными свойствами, нужно организовать выполнение несколько ключевых шагов:

1. Построение геометрической модели зуба, выполненной в среде КОМПАС Shaft-3D, которое опирается на эвольвентный профиль, будет создаваться с учётом необходимых параметров, таких как:

- Модуль зуба (m);
- Количество зубьев (z);
- Угол давления (α);
- Высота головки зуба (h);
- Размеры и параметры кольцевых канавок.

Кольцевые канавки, глубиной полтора модуля от головки зуба, следует точно воспроизвести в модели. Это важно для корректного получения результатов КЭ-анализа, поскольку они играют ключевую роль в распределении контактных напряжений.

2. Подготовка Модели для КЭ Анализа

После создания геометрической модели важно подготовить её для численного анализа:

Дискретизация: Модель необходимо разбить на конечные элементы. Важно учитывать, что форма и размер элементов могут существенно повлиять на точность решения. Для этого лучше использовать более мелкие элементы в областях, где ожидается значительная концентрация напряжений.

Материалы: Задать материалы для зубьев и основания, с определением механических и упругих свойств (модуль Юнга, коэффициент Пуассона).

3. Установка граничных условий критически важна для получения достоверных результатов:

Контактные пары: В рабочей позиции модель зубьев вводится в контакт. Здесь следует определить параметры контакта, такие как коэффициенты трения.

Нагрузки: Задать действующие нагрузки (статические). Это могут быть распределённые силы по линии зацепления, моделирующие реальные условия работы передачи.

4. Проведение Расчёта и Анализ Результатов

После выполнения всех вышеуказанных шагов, производится расчёт с использованием методов КЭ. Результатами анализа являются:

Контактные давления: Полученные значения давления между зубьями помогут оценить возможность развития усталостных трещин или других разрушений.

Распределение напряжений и деформаций: Определение областей с максимальными значениями напряжений или деформаций даст представление о механической надёжности конструкции.

5. Визуализация Результатов

Для наглядного анализа результатов можно использовать графики, показывающие распределение контактных давлений, а также визуализировать напряжение в областях, подверженных максимальному воздействию.

По итогу анализа контактных напряжений методом конечных элементов можно подтвердить или опровергнуть гипотезу о необходимости использования адаптивных свойств зубьев. Вероятно, результаты эксперимента продемонстрируют значительное улучшение в распределении нагрузок за счёт упругодеформирующих свойств зубьев с кольцевыми канавками. Полученные данные будут полезны не только для данной передачи, но и для дальнейших исследований в области зубчатых передач с адаптивными элементами. Таким образом, при численном решении задач упругого контакта зубьев с помощью программной системы конечно элементного анализа SOLIDWORKS simulation можно установить, что конструкция зубчатой передачи с адаптивными свойствами позволяет компенсировать неравномерность распределения нагрузки вдоль контактных линий, возникающую из-за ошибок изготовления, монтажа деталей, деформаций зубьев, валов и их опор и условий эксплуатации.

Список литературы

1. Макаров Г.Н. Повышение надёжности зубчатых передач трансмиссий сельскохозяйственной техники // Экономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – № 7 (19). – URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/povyshenie-nadezhnosti-zubchatykh-p/>

ПАГУБНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА МЕХАНИЗМЫ МЕТОДЫ БОРЬБЫ

*Лановский Н.А.¹
НИ ТПУ, ИШПР, 2Е31, студент,
e-mail: nal23@tpu.ru*

Впервые термин «гироскоп» был описан в трудах французского учёного Леона Фуко. Именно он ввёл это понятие и благодаря нему гироскоп на кардановом подвесе начали использовать в навигации. Гироскоп – твёрдое тело, быстро вращающееся вокруг своей оси, которая в свою очередь тоже способна к вращениям (прецессии). Ось, вокруг которой вращается тело – собственная ось вращения гироскопа. Ось, вокруг которой происходит прецессия – ось прецессии.

Кинетический момент – векторная величина, характеризующая количественную меру вращательного движения. Прецессионное вращение гироскопа намного меньше его собственного вращения, поэтому в элементарной теории гироскопа принято пренебрегать прецессионной угловой скорости. Тогда получаем, что кинетический момент собственных вращений гироскопа находится через формулу:

$$\vec{G} = \vec{\omega}_1 * I, \quad (1)$$

где ω_1 – собственная угловая скорость; I – момент инерции тела относительно оси собственного вращения.

Из теоремы об изменении кинетического момента следует что изменение направлено в ту же сторону что и момент силы вызывающий это изменение. Получается, что вектор кинетического момента, а вместе с ним и ось гироскопа, будет направлен вдоль своего изменения, то есть в сторону момента внешних сил, что и соответствует теореме Резаля: Скорость конца вектора кинетического момента численно и по направлению равна главному моменту внешних сил.

Так как момент внешних сил вызывает прецессионное вращение гироскопа с угловой скоростью ω_2 , и при этом гироскоп совершает вращение вокруг собственной оси с угловой скоростью ω_1 возникает пара Кариолисовых сил, что способствует возникновению момента направленного против момента внешних сил. Этот момент называется гироскопическим. Он и является причиной гироскопического эффекта характер, которого описывается в правиле Жуковского: если устройство вызывает вынужденную прецессию у гироскопа, то гироскоп действует на это устройство с гироскопическим моментом, который стремится совместить ось собственного вращения с осью прецессии.

Сила этого действия выражается из уравнения гироскопического момента:

$$\overline{M^{\text{гир}}} = I * (\omega_1 \times \omega_2) \quad (2)$$

И равна:

$$F = \frac{I * \omega_1 * \omega_2}{l}, \quad (3)$$

где l – плечо пары Кариолисовых сил.

Рассмотрим влияние гироскопического эффекта на примере самолётов, в которых имеется множество деталей быстро вращающихся вокруг, своей оси. Возникновению гироскопического момента в механизмах самолёта может привести в результате 3 закона Ньютона – к изменению направления полёта летательного аппарата. При больших оборотах (увеличивающих момент инерции сборочной единицы), а также при выполнении манёвров на малых скоростях и с малыми радиусами эффект усиливается. К примеру, при пикировании (снижение высоты) под действием гироскопического эффекта самолёт начинает отклоняться от курса в правую сторону (с учётом вращения винта против часовой стрелки относительно пилота, с угловой скоростью ω).

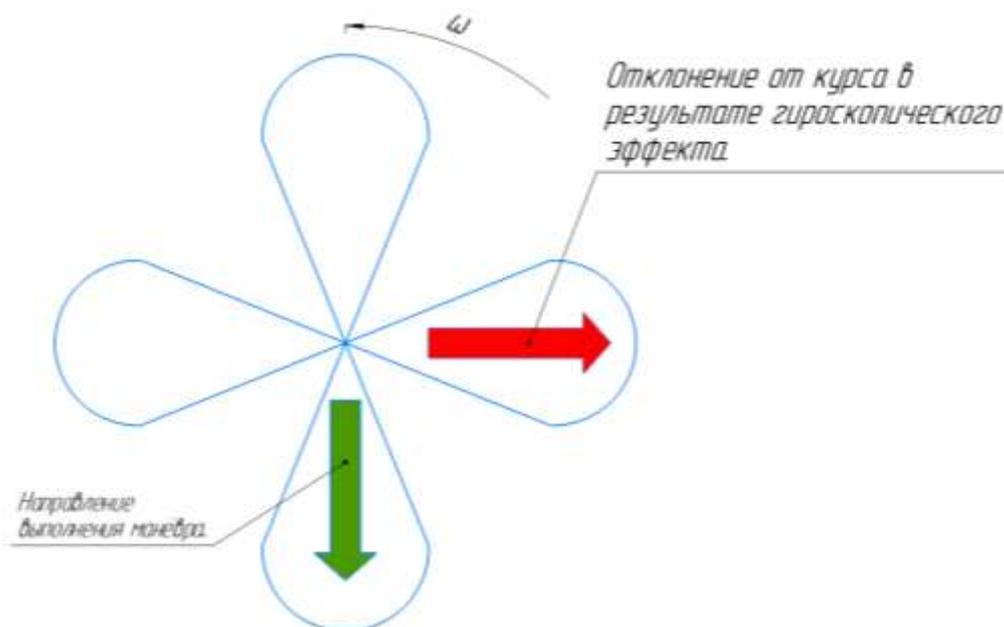


Рис. 1. Винт пикирующего самолёта

Получается, чтобы уменьшить влияние данного эффекта, необходимо уменьшить габариты вращающихся механизмов в процентном соотношении от всего самолёта, так же летательный аппарат не должен снижать свою скорость при выполнении манёвров ниже определённого значения свойственного для каждой модели машины. Так же лётчик должен осознавать и понимать, как влияет этот эффект на управляемость. Разумеется, необходимо хорошо закреплять роторы и другие быстровращающиеся части летательных средств для предотвращения их отрыва.

В кораблестроении проблема, связанная с гироскопическим эффектом также имеется, но суть её другая. В отличие от самолётов, где габариты и веса не большие в кораблях располагаются многотонные роторы двигателей который при неправильном конструировании, может просто оторвать при выполнении резкого манёвра. Проблема с управляемостью тоже присуща кораблям, но в меньшей степени, ведь обычно общая масса судна намного больше массы двигателя.

Так же гироскопический эффект нужно учитывать в различных мельницах, в которых используются 2 колеса, вращающиеся вокруг неподвижной оси. В таких устройствах гироскопический момент утяжеляет колёса делая их эффективными, но при этом усиливает давление на опорную плиту и на весь фундамент в целом. Поэтому это необходимо учитывать в выборе места строительства и состава основания.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод что полностью побороть эффект гироскопа на данный момент невозможно, можно лишь уменьшить его пагубное влияние на механизмы и учитывать действие эффекта при конструировании и эксплуатации машин.

Список литературы

1. Сборник научных статей практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского» 17–19 декабря 2013 года / М-во обороны Рос. Федерации, Фил. Воен. учеб.-науч. центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2014 – 232 с.
2. Лысов А.Н., Виниченко Н.Т., Лысова А.А. Прикладная теория гироскопов: учебное пособие / А.Н. Лысов, Н.Т. Виниченко, А.А. Лысова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009 – 254 с.
3. Валентин Ковтун, Вильгельм Хегер, Игорь Тревогов, Лина Чаплинская Гироскопическое оборудование – прошлое и настоящее: статья. – Геопрофиль, 2010 – 7 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БЕССЕПАРАТОРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Микаелян А.Т.¹, Трофимов Н.А.², Пашков Е.Н.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А12,

e-mail: atm5@tpu.ru

²ИШНПТ, группа 4А12,

e-mail: nat17@tpu.ru

³НИ ТПУ, ИШНПТ, к.т.н. доцент ОМШ,

e-mail: epashkov@tpu.ru

Введение

Роликовый подшипник – узел, используемый для уменьшения сил трения в опоре, использующий в качестве тела качения ролик. Конструктивным недостатком и основной проблемой таких подшипников являются сепараторы, как самая ненадёжная деталь. В связи с этим разработаны конструкции не использующие сепараторы. Одним из перспективных направлений разработки являются подшипники, использующие зубчатое зацепление для сепарирования роликов. Такое решение позволяет не только повысить нагрузочную способность подшипника, но и значительно снизить влияние проскальзывания роликов ввиду гораздо меньшего проскальзывания зубчатого зацепления.

Передовые исследования в области

В исследовании В.Л. Юрьевой, Г.А. Матвеева, Н.В. Филонова [1] рассматривается геометрический синтез планетарного механизма, составленного из цилиндрических колес с шевронными зубьями. Из приведенных расчетов можно увидеть, что данный подшипниковый узел рассчитан целиком как планетарный механизм, а не как модернизация существующей модели роликового подшипника, при этом были сохранены основные присоединительные размеры подшипника, аналогом которого должен служить приведенный узел. Проблема осевой устойчивости механизма решена, в данном случае, применением шевронного зацепления. Приведенная схема помогает решить ряд проблем обычных роликовых подшипников: обеспечивает чистое качение сопряженных поверхностей; увеличивает радиальный зазор в подшипнике, обеспечивая возможность снизить требования к точности взаимного расположения осей колес; существенно повышает несущую способность подшипника.

В своей статье [2] Элиас Брасситос и Константинос Мавроидис предлагают, как развитие применения планетарных механизмов в электродвигателях, для преобразования вращения, замену комбинации подшипника и планетарного механизма на просто планетарный механизм, который должен выполнять обе роли. Их применение обосновывается упрощением конструкции, за счет меньшего количества деталей, и меньшим износом, по сравнению с обычными подшипниками, из-за магнитного притяжения тел качения к статору во время работы.

В исследовании компании SKF Group «Thinking beyond rolling bearings: gears»[3] приведен передовой метод расчета ресурса планетарных передач в рамках трибологии, применяя методы для расчетов подшипников. Он рассматривает вероятность безотказной работы поверхности как риск отказа, который не зависит от подповерхностных напряжений по Герцу. Это открывает новые возможности использования специализированных трибологических моделей для описания поверхностных отказов в зоне контакта качения. Концептуальная модель может быть улучшена до прогнозной модели путем внесения уточняющих корректировок на основании большего количества данных, полученных в результате испытаний зубчатых передач при различных условиях эксплуатации.

На данный момент существует несколько патентов [4, 5, 6, 7] которые рассматривают технические решения, связанные с применением зубчатого зацепления в роликовых подшипниках. Однако данные технические решения имеют ряд недостатков. Самым передовым патентом на данный момент является патент [7]. Он включает в себя наибольшее количество реализуемых конструкций для использования зубчатого зацепления в роликовом подшипнике.

Результаты анализа исследований

В радиальных опорах авиационных приводов и турбовальных двигателях наиболее распространены роликовые подшипники качения, обладающие более высокой нагрузочной способностью. Высокие весовые и прочностные требования вынуждают использовать детали опор на пределе их возможностей. Роликовые подшипники практически достигли предела развития, новые материалы уже незначительно повышают характеристики, как и повышение точности изготовления. Основные пути модернизации, это улучшение сепараторов или отказ от них, как главной уязвимости этого типа подшипников.

Также представленный тип подшипника может быть использован в буксах поездов [7], электродвигателях и пр.

Список литературы

1. Юрьева В.Л. Кинематический синтез зубчатого механизма, заменяющего радиальный роликовый подшипник качения / В.Л. Юрьева, М.А. Матвеев, Н.В. Филонов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук: т.16 – М.: 2014 – С. 573–577.
2. Kinematics Analysis and Design Considerations of the Gear Bearing Drive. Elias Brassitos and Constantinos Mavroidis 2013 – С. 159–175.
3. Гибридные подшипники качения для авиационных двигателей (обзор). Ножницкий Ю.А., Петров Н.И., Лаврентьев Ю.Л. Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва 2019 – С. 63–76.
4. Малышев А.И. Роликовый подшипник. 2161740 / А.И. Малышев, В.В. Кисляков // пат. RU2161740C2 – 1999. – 4 с.
5. Филонов Н.В. Подшипник качения радиальный роликовый бессепараторный. 2135851 / Н.В. Филонов, В.Л. Юрьева, Г.А. Матвеев // пат. RU2135851C1 – 1997. – 8 с.
6. Волков Г.Ю. Зубчатый подшипник. 2345255 / Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов // пат. RU2345255C1 – 2007. – 7 с.
7. Захаров Е.Н. Бессепараторный подшипник качения (варианты) и способ его сборки (варианты). 2427734 / Е.Н. Захаров, Ю.В. Богачев, А.С. Харчев // пат. RU2427734C1 – 2010. – 33 с.
8. Черемискина М.С. Кинематика бессепараторных подшипниковых узлов с зубчатой передачей: научный доклад / М.С. Черемискина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Управление по науке (УН), Отделение машиностроения (ОМШ); науч. рук. Е.Н. Пашков. – Томск, 2024.

РАСЧЁТ ЁМКОСТИ ШАРИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛЯТОРА

Недошивин В.В.¹, Зиякаев Г.Р.²

¹Томский политехнический университет, ИШПР, 2Е41,

e-mail: vvn36@tpu.ru

²Томский политехнический университет, к.т.н., доц.,

e-mail: zgr@tpu.ru

В настоящее время в связи с внедрением новых технологий в области машиностроения идет рост угловой скорости вращения роторов приборов и машин, отсюда увеличиваются уровни вибрации, вызываемые ими. Вредная вибрация приводит к быстрому износу деталей и узлов машин, нарушает работу оборудования, что приводит к аварийной ситуации.

В большинстве случаев источниками вибраций выступают неуравновешенные вращающиеся части машин. На сегодняшний день существуют различные способы балансировки вращающихся роторов, позволяющие уравновесить их на высшем уровне. Для балансировки определенных типов роторных агрегатов достаточно единоразовой балансировки ротора, которую проводят сразу после их изготовления. Однако существуют такие типы машин, вектор дисбаланса которых постоянно меняется по величине и направлению в процессе их эксплуатации. Поэтому возникает потребность в создании устройств, автоматически устраняющих вибрации без остановки работы оборудования, которые бы могли решить данную проблему и тем самым продлить срок службы оборудования.

Шариковое автобалансирующее устройство (АБУ) является самым изученными и простым в конструкции типом автобалансирующих устройств. Принцип его работы основан на использовании свободно перемещающихся шариков, которые под действием центробежной силы занимают положение, компенсирующее дисбаланс. Когда вращающийся объект с установленной автобалансирующей установкой начинает вращаться, центробежная сила воздействует на шарики. В случае дисбаланса в конструкции возникает неравномерное распределение центробежных сил и шарики стремятся занять такое положение, при котором суммарный дисбаланс системы уменьшается до минимума. Таким образом, устройство работает без необходимости ручного вмешательства – установка автоматически корректирует баланс во время вращения.

На рис. 1. представлена схема, показывающая принцип работы шарикового автобалансирующего устройства.

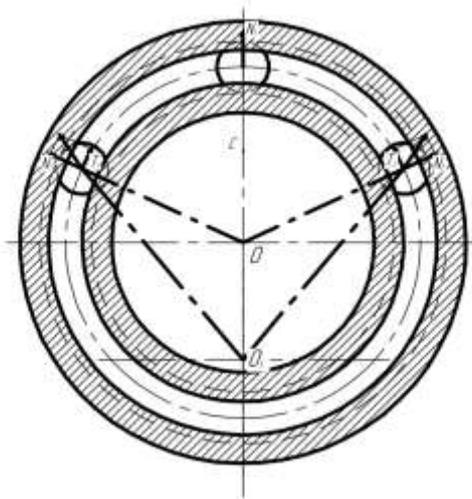


Рис. 1. Схема, показывающая принцип работы автобалансирующего устройства:
O – центр обоймы; O₁ – ось вращения подшипников; С – центр тяжести ротора

Было разработано автобалансирующее устройство на основе подшипника 108 с 3-мя шариками в обойме для балансировки ротора вентилятора. Требуется рассчитать ёмкость данного устройства. Ниже приведены расчёты ёмкости.

Ёмкость автобалансирующего устройства (АБУ) – скалярная физическая величина, описывающая способность устройства компенсировать дисбаланс, возникающий в роторных системах. Она определяется как максимально возможный момент уравновешивания, который может быть обеспечен устройством. Рассчитать ёмкость можно по формуле:

$$E = m_1 \cdot h_1 + 2m_1 \cdot h_2$$

где E – ёмкость; m_1 – масса шарика; h_1 и h_2 – расстояния от центра масс шариков до горизонтальной осевой линии.

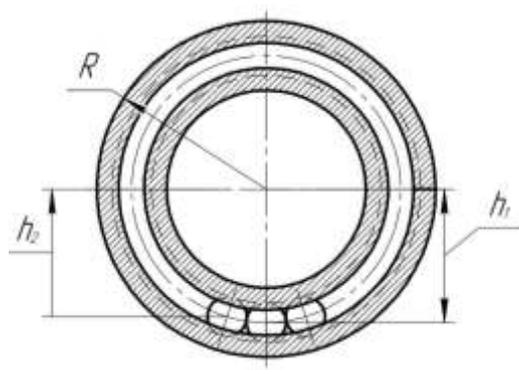


Рис. 2

С учётом того, что шарик сделаны из стали ШХ15, мы можем узнать его плотность. Объём находим по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$. Вычисляем массу по формуле $m = \rho V$, получаем $m_1 = 2,05$ г. Расстояния $h_1 = 27$, $h_2 = 25,8$. С учётом этих данных ёмкость АБУ получается равной $161,13$ г × мм, то есть это устройство может устранить дисбаланс равный данной величине.

В ходе проделанной работы была рассчитана ёмкость автобалансирующего устройства с тремя шариками вентилятора. Технология расчёта ёмкости АБУ является очень важным аспектом при его создании, поэтому результаты работы находят свое применение при начальном подборе параметров будущего устройства.

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р. Некоторые вопросы динамики роторных систем с маятниковыми автобалансирующими устройствами // Журнал машиностроения. – 2022. – № 3. – С. 45–53.
2. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравновешивания роторов // Вестник механики, 2021. – Т. 12, № 4. – С. 12–19.
3. Гусаров А.А. Балансировка гибких роторов с распределенной массой. // Научные труды Санкт-Петербургского политехнического университета. – 2020. – Т. 56, № 7. – С. 67–75.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА БАЗЕ ДИПЛОСКОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Пуунов А.С.
НИ ТПУ, ИШПР, гр. 2БМ36 з.
e-mail: alekspaspiun@gmail.com

Ключевые слова: планетарный редуктор, кинематика, структура, механическая передача с промежуточными телами в форме катков (ПТК), напряженно-деформированное состояние, коэффициент полезного действия (КПД).

Введение

Одной из областей исследования планетарных передач является оптимизация их конструкции и работы с целью повышения эффективности и надежности. Направление оптимизации включает в себя различные аспекты их конструкции, расчета, моделирования, проектирования, а также анализ напряжений и деформаций в различных элементах, оптимизацию геометрии зубьев, разработку новых материалов для изготовления деталей передачи и т. д.

Обзор

В качестве объекта исследования выбрана планетарная передача, основанная на диплоском зацеплении с промежуточными телами качения (ПТК). Особенностью данной передачи является уникальный способ формирования зубьев на солнечных колесах и сателлите, который представляет собой «трубчатые» поверхности, возникающие в заданных относительных движениях промежуточных тел качения. По данным «трубчатым» поверхностям размещены промежуточные тела качения (шарики), и используются в качестве паразитных колес, для передачи движения. Движение ПТК, происходит по циклоидальной траектории, что обеспечивает многопарность зацепления. Вышеуказанные особенности данной передачи позволяют существенно снизить износ за счет замены трения скольжения трением качения, а также, выдерживать большие нагрузки [1].

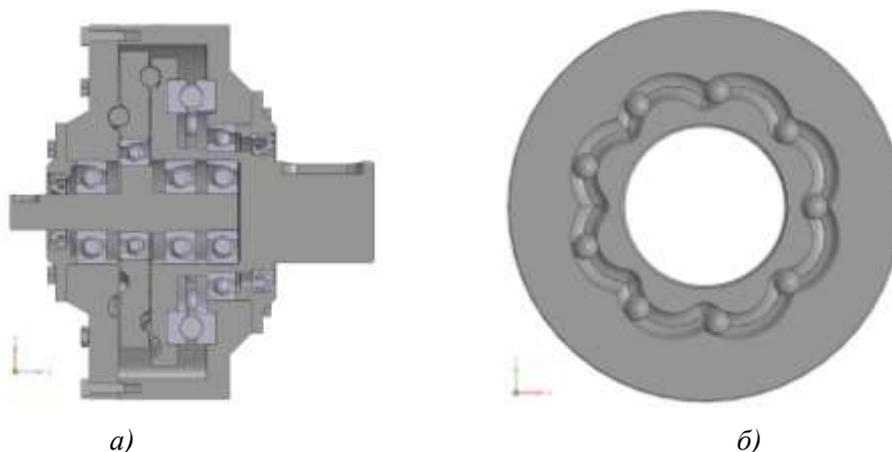


Рис. 1. CAD-модель: а – редуктора; б – сателлита с промежуточными телами качения

Решение. Был произведен расчет геометрии, построена 3D-модель и анализ в рамках пакета ПО «ANSYS R2 2020».

В качестве материалов были выбраны: сталь 40Х (У+ТВ) для сателлита и сталь 40Х (У) для колеса. Допустимые контактные напряжения определялись с использованием формулы [2]:

$$[\sigma]_H = K_{HL} * [\sigma]_{H0}, \quad (1)$$

где $[\sigma]_H$ – допускаемое контактное напряжение (Н/мм^2); K_{HL} – коэффициент долговечности; $[\sigma]_{H0}$ – допускаемое контактное напряжение при числе циклов переменных напряжений.

Принимается значение по менее прочным зубьям. Допускаемое контактное напряжение составило 530 Н/мм².

Для анализа напряженно-деформированного состояния механической передачи использовалось программное обеспечение ANSYS R2 2020. В данной версии ANSYS R2 2020 применяется метод конечных элементов для моделирования, и решения математических моделей различных физических процессов. Фиксирование осуществляется в местах для болтового соединения. Накладываемая нагрузка равна: на входном валу 36000 Н · мм на выходном валу, 491000 Н · мм.

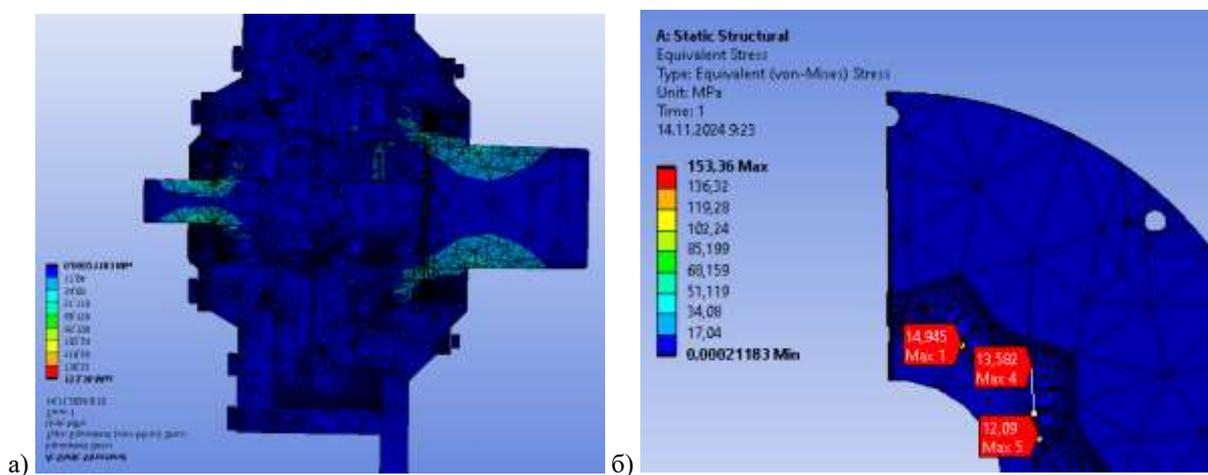


Рис. 2. CAD-модель: а) редуктора; б) солнечного колеса

На рис. 2 представлены результаты численного анализа, Максимальное значение напряжения в редукторе распределено вдоль входного и выходного валов и составило 153 МПа. Максимальное контактное напряжение, полученное на зубьях колес и сателлита, составило 14,945 МПа. Допускаемое контактное напряжение зубьев солнечных колес и сателлита равное 530 Н/мм² не было превышено. Коэффициент запаса прочности для зубьев составил $[RF] = 35$.

Заключение

Была построена CAD-модель планетарной передачи на базе диплоского зацепления с промежуточными телами качения. Также, численным методом проведен анализ напряженно-деформированного состояния планетарной передачи. Максимальное контактное напряжение составило численным методом 14,95 МПа. Запас прочности для зубьев составил $[RF] = 35$.

Список литературы

1. Алиев, Ф.Р., Лазуркевич, А. В., & Ан, И.-К. (2017). Планетарная передача на базе диплоского зацепления с промежуточными телами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – 15(1). – С. 4–8. – <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-1-4-8>.
2. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Высш. Шк., 1991. – 432 с: ил. ISBN 506-001514-9. – 50–51 с.
3. Ханов, А.М. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / А.М. Ханов, Л.Д. Сиротенко. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010 – 270 с. ISBN 978-5-398-00433-5. – 170–175 с.
4. Фомин М.В. Планетарно-цевочные передачи: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 64 с.: ил.
5. Шанников, Владимир Михайлович. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением [Текст] / Доц. В. М. Шанников, канд. техн. наук. – Москва; Ленинград: [Ленингр. отд-ние] и 1-я тип. Машгиза в Л., 1948. – 172 с.

СРАВНЕНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА И СТАНОВСКОГО

Пугин О.В.¹, Пашков Е.Н.²
¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4А32, студент,
e-mail: ovp20@tpu.ru
²НИ ТПУ, ИШНПТ, к. т. н., доцент,
e-mail: epashkov@tpu.ru

Зацепление Новикова, круговинтовое зацепление, передача Новикова – механическая передача, альтернативный эвольвентному тип зацепления, предложенный советским инженером М.Л. Новиковым в 1954 году для зубчатых передач. Зубья колёс в торцевом сечении очерчены окружностями близких радиусов. Площадка контакта зубьев перемещается не по профилю зуба, как в прямозубом эвольвентном зацеплении, а вдоль него (рис. 1). Угол давления и скорость перемещения не изменяется.



Рис. 1. Профили зубьев в зацеплении Новикова

Для зацепления Новикова характерно то, что оно обладает нулевым торцовым коэффициентом перекрытия, в связи с чем его работоспособность может обеспечить лишь косое или шевронное исполнение зубьев.

Зубчатая передача Новикова сегодня применяется в редукторах для буровых установок, кранов, подъемников, оборудования для шахт и других ответственных системах.

Эксцентриково-циклоидальное зацепление (ЭЦ-зацепление) – зубчатое зацепление, альтернативное эвольвентному, предложенное В.В. Становским в 2007 году. Зубья ведущего колеса (шестерни) в торцевом сечении представляют собой эксцентрики (полные или усеченные), а зубья ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой. Существует несколько разновидностей эксцентриково-циклоидального зацепления: дисковое и гладкое (рис. 2).

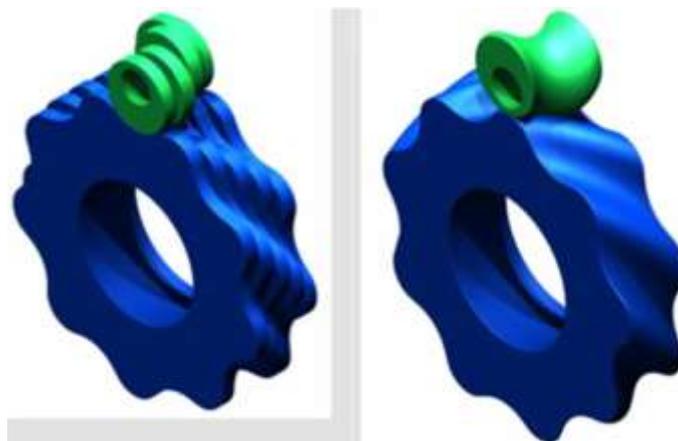


Рис. 2. ЭЦ-зацепление (слева дисковое, справа гладкое)

В простейшем варианте – дисковом зацеплении – зуб шестерни в торцевом сечении представляют собой один эксцентрик. Зубья ведомого колеса имеют циклоидальный профиль. Поскольку такие профили обеспечивают контакт зубьев только на половине оборота эксцентрика, для обеспечения непрерывности контакта шестерня сформирована из нескольких эксцентриков на одной оси, повернутых относительно друг друга. Колесо также составлено из нескольких имеющих угловое смещение участков с зубьями циклоидального профиля.

Эксцентриково-циклоидальное зацепление используется в тяговых редукторах локомотивов, горно-шахтном оборудовании, судостроении и т. д. Также использовалось в прототипе редуктора для не состоявшегося проекта Ё-мобиля.

Зацепление Новикова отличается от эксцентриково-циклоидального зацепления тем, что в зацеплении Новикова профиль зубьев выполнен по дуге окружности или по кривой, близкой к ней, в то время как эксцентриково-циклоидальном зацеплении зубья ведущего колеса в торцевом сечении представляют собой эксцентрики, а зубья ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой.

Оба вида зацеплений обеспечивают увеличение контактной прочности и повышение нагрузочной способности по сравнению с эвольвентным зацеплением. Однако эксцентриково-циклоидальное зацепление более устойчиво к изменениям межосевого расстояния и проще в изготовлении, чем зацепление Новикова.

Список литературы

1. ГОСТ 15023-76. Передачи Новикова цилиндрические с двумя линиями зацепления.
2. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых колес и механизмы на его основе / В.В. Становской [и др.] // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения: сб. докл. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Ижевск, 2008. – С. 148–152.
3. URL: <https://www.ec-gearing.ru/>
4. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эксцентриково-циклоидальное_зацепление
5. URL: <https://reductor58.ru/news/poleznaya-informatsiya/zubchataya-peredacha-s-zatsepleniem-novikova/>
6. URL: https://m-40.ru/cilindricheskie_novikov.php

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРОК ИЗДЕЛИЙ

Пфаргер Е.Е.¹, Черемискина М.С.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А21, студент

e-mail: eep21@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, старший преподаватель

e-mail: mcherry@tpu.ru

Проектирование является ключевым этапом разработки инженерных изделий, поскольку определяет не только функциональные, но и экономические и эксплуатационные характеристики будущего продукта. Вопрос выбора подходящего метода проектирования становится особенно актуальным при разработке сложных многокомпонентных систем, где важно учесть технические параметры, бюджетные ограничения и сроки реализации проекта. В настоящее время на практике применяются два основных метода – восходящее и нисходящее проектирование.

Восходящий метод проектирования (*Bottom-Up Design*) предполагает создание сборки «снизу вверх». Разработка начинается с отдельных деталей и компонентов, которые затем объединяются в более крупные узлы и формируют сборочное изделие. В основе этого метода лежит работа с конкретными элементами, которые разрабатываются изолированно друг от друга. Восходящий метод нацелен на минимизацию сложности проектирования и упрощение процесса сборки путем создания стандартизированных и независимых компонентов.

Восходящий метод обладает рядом преимуществ, среди которых высокая адаптивность к изменению компонентов и модульность, то есть возможность создания компонента независимо от сборки и последующего его использования в других системах. Такой подход также позволяет снизить временные затраты на начальных этапах проектирования, так как не требует создания сложной структуры проекта.

Однако при росте числа компонентов возникают значительные трудности, связанные со сложностью согласования геометрии элементов в сборке, так как на этапе их объединения детали и узлы могут требовать модификации для соответствия общей системе. Сборка «снизу вверх» осуществляется путем привязки деталей друг к другу. В результате этого формируется последовательная схема хронологии связей деталей (рис. 1, а). Такая схема без специальных механизмов, обеспечивающих постоянство связей, может оказаться недостаточно устойчивой для внесения изменений в ходе проектирования.

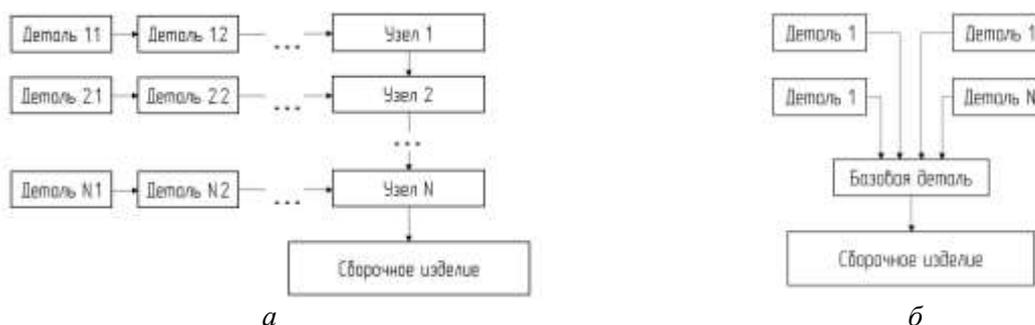


Рис. 1. Схема хронологии связей при сборке «снизу вверх»:

а – последовательная хронология; б – хронология в виде дерева

Метод восходящего проектирования затрудняет контроль за качеством изделия, соответствием требуемым характеристикам, поэтому широко применяется в машиностроении при проектировании типичных механизмов с постоянной структурой, работа над которым заключается в расчете параметров и детализации геометрии (штампы, редукторы, насосы, приводы, двигатели и др.). Метод «снизу вверх» также достаточно эффективен для моделирования изделий, в которых большая часть деталей крепится на базовую деталь, например, корпус. В таком случае хронология связей принимает вид дерева (рис.1, б).

Нисходящий метод проектирования (Top-Down Design) начинается с общего представления конечного продукта и идет «сверху вниз» к более детализированным уровням. При использовании данного подхода сначала создаются общая концепция и структура изделия, определяются его основные функции и взаимосвязи. Затем систему разбивают на более мелкие подсистемы, определяют компоненты и детали, сохраняя контроль над взаимодействием и совместимостью всех частей. Далее проводят детализацию узлов до уровня отдельных компонентов и определяют их характеристик, материалов и геометрии.

Принцип нисходящего проектирования эффективен при коллективной разработке сложных инженерных систем. Поскольку положение каждой детали и сопряжения при методе «сверху вниз» однозначно заданы компоновочной схемой сборки, легко распределить задачи и управлять командой на каждом уровне разработки, что особенно важно при работе над большими и сложными проектами. Схема хронологии связей при таком подходе (рис.2) достаточно устойчива для внесения изменений в ходе проектирования: любую деталь можно извлекать из сборки без всяких последствий. Нисходящий метод также позволяет осуществлять постоянный контроль целостности и функциональности системы, задавать требования к конечному продукту, что позволяет оптимизировать проектирование для достижения конкретных целей.

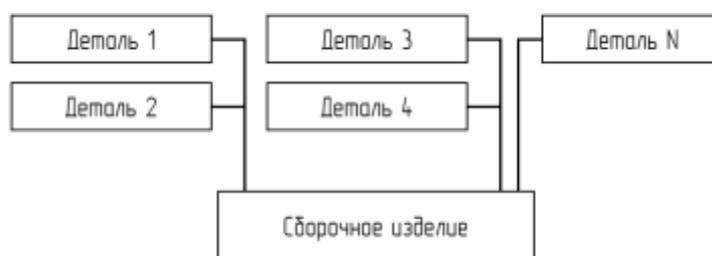


Рис. 2. Хронология связей при сборке «сверху вниз»

К недостаткам проектирования «сверху вниз» относятся высокие начальные временные затраты на разработку структуры и функциональной модели. Также для этого подхода характерна ограниченная гибкость, вызванная зависимостью нижележащих элементов от изначальной модели, поэтому при изменении требований к изделию в процессе разработки может быть сложно адаптировать структуру.

Нисходящий метод проектирования применяется в основном в сложных инженерных системах, таких как авиационные и космические аппараты, крупные производственные линии, сложные программные системы. Этот принцип используется, когда требуется строгий контроль над соответствием изделия общим требованиям.

Выбор метода проектирования зависит от специфики проекта, его сложности и требований ко времени и затратам. Нисходящий метод позволяет инженерам эффективно управлять сложными проектами, создавая систему «сверху вниз» и обеспечивая целостность и функциональность изделия, контроль над всеми уровнями системы. Восходящий метод, напротив, дает возможность разрабатывать отдельные компоненты, объединяя их в более крупные модули для создания полной системы, и ориентирован на повторное использование компонентов.

Современные инженерные проекты зачастую используют комбинацию обоих методов, что позволяет получить преимущества обоих подходов: создавая общую структуру изделия, можно параллельно разрабатывать отдельные модули и оптимизировать проектирование под конкретные условия.

Список литературы

1. Устюгов А.В., Возиков Т.А., Кубриков М.В. Методика нисходящего проектирования на производстве. Cyberleninka. – 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-nishodyaschego-proektirovaniya-na-proizvodstve>
2. Методы организации работы над сборочными изделиями [Электронный ресурс]. – URL: <https://sapr.ru/article/8167?ysclid=m37lgb3p5b220532199>
3. САПР конструктора машиностроителя. Проектирование сборки изделий. StudRef. – URL: https://studref.com/605483/tehnika/sborochnye_svyazi?ysclid=m37map8v9189893774

КОМПОНОВКА МАЛОГАБАРИТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Рузанова А.Г.¹, Крауиньш Д.П.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: agr10@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, к.т.н., доцент

e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru

Сегодня невозможно представить жизнь без металлообрабатывающих станков. Будь то автомобиль или обычный винт, все это невозможно было бы создать не имея станков.

Возможности металлорежущего станка по обработке той или иной номенклатуры деталей с заданным качеством и наибольшей производительностью связаны, в первую очередь, с выбранным методом обработки и соответствующими движениями формообразования, а также со степенью концентрации в одном станке технологических операций. При этом характер обрабатываемой поверхности и вид режущего инструмента оказывают решающее влияние на принцип работы и компоновку станка.

Структура компоновок металлорежущих станков

Металлорежущие станки различают по технологическому назначению и режущим инструментам, по размерам и типовым разновидностям, по системам управления и степени автоматизации и, кроме того, по компоновкам. Разнообразие компоновок является следствием не только множества технологических задач, размеров и форм обрабатываемых деталей, но и развития конструкций станков и способов обработки, причем в самом относительном характере движения формообразования заключено многообразие возможных вариантов движений заготовки и инструментов, а, следовательно, и компоновок станков.

Компоновка – это система расположения узлов и направляющих станка, отличающаяся структурой, пропорциями и свойствами.

Компоновка металлорежущего станка имеет блочную структуру и состоит из одного стационарного и нескольких подвижных блоков, разделенными линейными или круговыми направляющими.

Следовательно, габаритные размеры и общая компоновка станка определяют наибольшие допустимые размеры узла, требуемую точность и соответствующие нагрузки, передаваемые механизмами, ограничивают их минимальные размеры из условия прочности к жесткости и др.

На данный момент актуальна задача создания 4...5 координатного малогабаритного фрезерного станка с числовым программным управлением, автоматической сменой инструмента, который будет обеспечивать высокую точность (а, следовательно, и высокую жесткость) при обработке деталей с высокими требованиями к размерам и геометрии.

Существует множество разновидностей компоновок и типов станков, рассмотрим лишь некоторые из них:

Агрегатно-модульный принцип построения станков (рис. 1, а) обладает оригинальной компоновкой. Модуль – это узел, который автономен конструктивно и функционально. Модульный принцип предусматривает применение взаимозаменяемых столов-спутников в сочетании с универсально-сборочной оснасткой, что позволяет обрабатывать заготовки, отличающиеся как по форме, так и по размерам, и производить их установку и закрепление вне рабочей зоны станка и в процессе обработки. При этом отпадает необходимость в создании специальных зажимных приспособлений.

Портальный обрабатывающий центр по металлу (рис. 1, б) имеет массивную раму в форме портала, имеют цельнолитую структуру, обеспечивающую высокую жесткость конструкции в процессе обработки.

Токарно-карусельные обрабатывающие центры (рис. 1, в) дают возможность обрабатывать детали большого диаметра и веса, обладая малыми линейными габаритами. Вертикальный шпиндель – обеспечивает главное движение резания вращением планшайбы и заготовки.

Обрабатывающий центр (рис. 1, *з*) оснащен солидным магазином инструментов с устройством автоматической смены инструмента (АСИ).

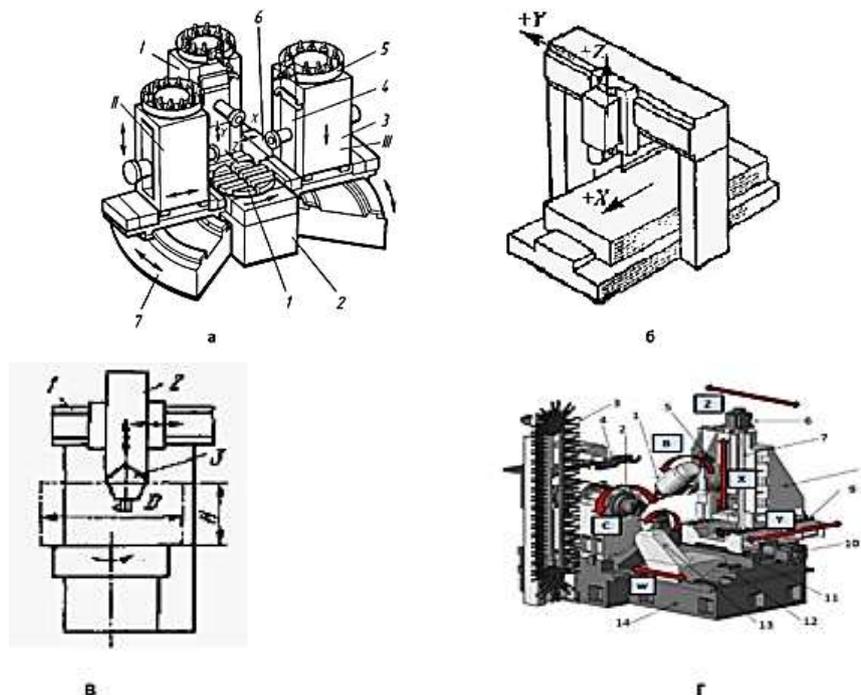


Рис. 1

Из конструктивных разновидностей магазинов наибольшее распространение получили дисковые (рис. 2, *а*) и цепные (рис. 2, *б*). Положение магазина при компоновке в некоторых случаях однозначно определяется конструктивным типом устройства, а в других случаях благодаря автооператорам может быть неоднозначным.

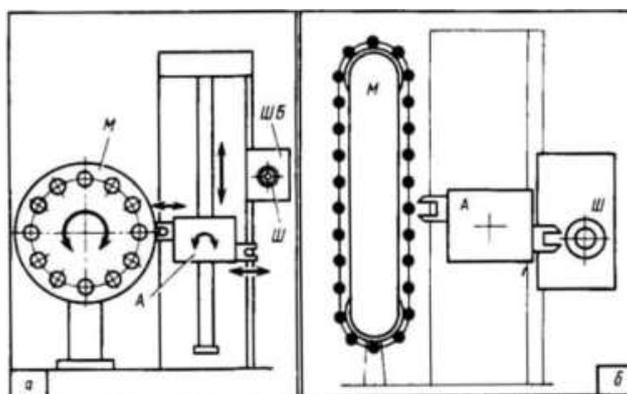


Рис. 2

Из конструктивных разновидностей магазинов наибольшее распространение получили дисковые (рис. 2, *а*) и цепные (рис. 2, *б*). Положение магазина при компоновке в некоторых случаях однозначно определяется конструктивным типом устройства, а в других случаях благодаря автооператорам может быть неоднозначным.

Задача: из представленных компоновок выбрать лучшие качества для создания малогабаритного обрабатывающего центра, обладающего высокой жесткостью, для широкой номенклатуры деталей, которые требуют высокой точности обработки.

Благодаря высокой функциональности, представленные станки используются на крупных промышленных предприятиях, которые способны решать задачи, связанные с обработкой как крупногабаритных, так и малогабаритных деталей. Отсюда при обработке малогабаритных деталей, мы получаем избыток установочной мощности, неравномерный износ направляющих и др.

Попробуем объединить качества представленных компоновок и спроектировать малогабаритный фрезерный станок с ЧПУ, который будет отличаться компактностью и высокой функциональностью. Большим плюсом такого станка будет являться возможность подключаться к стандартной электрической сети с напряжением 220 В.

Массивная рама, в форме портала, будет иметь цельнолитую структуру. По мосту будет перемещаться (вдоль двух осей Y и Z) шпиндель, оснащенный режущим инструментом. Продольная подача (по оси X) будет реализована путём перемещения наклонно-поворотного стола (с 4 и 5 осями вращения). Из всего разнообразия АСИ для малогабаритных станков наиболее удачным вариантом представляется без авто-операторная смена инструмента.

На рис. 3 представлена предлагаемая компоновка 5-ти осевого фрезерного станка с ЧПУ с автоматической сменой инструмента на 12 позиций.

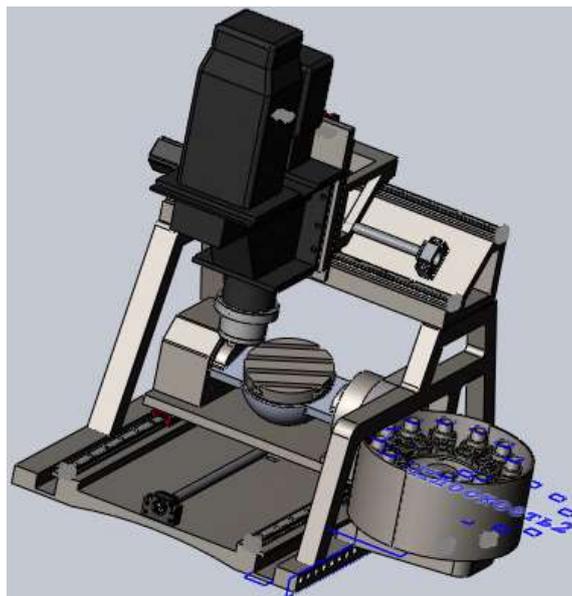


Рис. 3

Настольный станок предназначен для выполнения операций фрезерования различных деталей из черных и цветных металлов и их сплавов в условиях серийного и мелкосерийного производства. За счет поворотно-наклонного стола он способен обрабатывать детали с самой сложной геометрией, включая криволинейные и наклонные поверхности, углубления и отверстия под различными углами.

Если говорить о фрезерной обработке на станках подобного типа, то для ее выполнения может быть использован инструмент цилиндрического, дискового или торцевого типа. Для обработки отверстий в шпиндель устройства можно установить сверло и другие инструменты.

Все перемещения рабочих органов будут осуществляться за счет шарико-винтовых передач, обеспечивающих высокую точность и плавность хода.

Список литературы

1. Анализ компоновок металлорежущих станков / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
2. Металлорежущие станки: учебное пособие: в 2 частях / А. И. Голембиевский. – Новополюк: ПГУ им. Евфросинии Полоцкой, 2023 – Часть 2. – С. 176.
3. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Ерёмин, А.А. Какоило и др.; под ред. В.В. Бушуева. 2-е изд. – М.: Инновационное машиностроение, 2023. – 586 с.: ил.
4. Детали и механизмы металлорежущих станков / под ред. Д.Н. Решетова. Т. I, II. – М.: Машиностроение, 1972. – с. 520, 664.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА СИЛЫ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ДВУХПОЛЮСНОЙ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Русин А.А.,

аспирант гр. А2-20

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

e-mail: aar54@tpu.ru

На сегодняшний день инженерам необходимо проектировать компактные, высокоточные и ресурсоэффективные механизмы, чтобы обеспечить нужды импортозамещения и современного производства.

Одними из таких являются механизмы на базе двухполюсной циклоидальной передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО) (рис. 1), которые демонстрируют высокие силовые характеристики при малых размерах [1, 2]. Одним из ключевых факторов, регулирующих эффективность передачи, является набор геометрических параметров, среди которых эксцентриситет играет важную роль. Его изменение может существенно повлиять на распределение усилий в механизме, что, в свою очередь, сказывается на общей надежности и долговечности передачи. Таким образом, анализ влияния изменения эксцентриситета на силы в зацеплении двухполюсной циклоидальной передачи является актуальным.

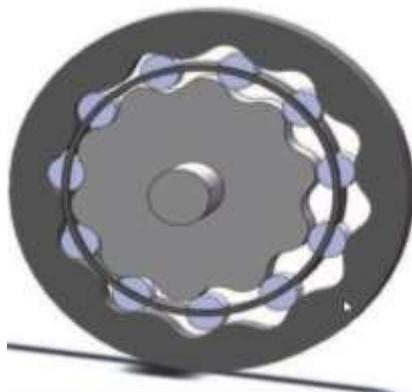


Рис. 1. Двухполюсная циклоидальная передача с промежуточными телами качения

Расчет усилий в двухполюсной циклоидальной передаче представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу, подверженную риску возникновения ошибок [3]. Чтобы минимизировать эти риски и оптимизировать процесс, мы используем созданную ранее программу [4]. Программа предоставляет детализированные данные, такие как усилия на каждом теле качения для каждого зацепления, а также максимальное и результирующее усилия.

Рассматривая различные варианты сочетания исходных параметров двухполюсной циклоидальной передачи с ПТКСО, мы определили [3], что возможно два варианта взаимного расположения полюсов. Ключевую роль в определении взаимного расположения полюсов играет величина эксцентриситетов. Когда $e_3 > e_1$, полюс зацепления кулачка и тел качения выше полюса зацепления тел качения и венца, в противном случае наоборот. Следовательно, необходимо провести анализ влияния эксцентриситета для каждого зацепления с учетом разного положения полюсов.

Рассмотрим, как изменение эксцентриситета влияет на усилия в зацеплениях двухполюсной циклоидальной передачи. Проведем два анализа для разного положения полюсов, изменяя значения e_1 в диапазоне от 1 до 2 с шагом 0.1, а значение e_3 будет меняться по формуле:

$$e_3 = e_1 \pm 0,1, \quad (1)$$

где знак «+» будет использоваться для зацепления, когда $e_3 > e_1$, а «-» когда $e_3 < e_1$, чтобы добиться нужного взаимного расположения полюсов зацепления. Результаты вычислений

для зацепления кулачка и тел качения, а также тел качения и венца показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

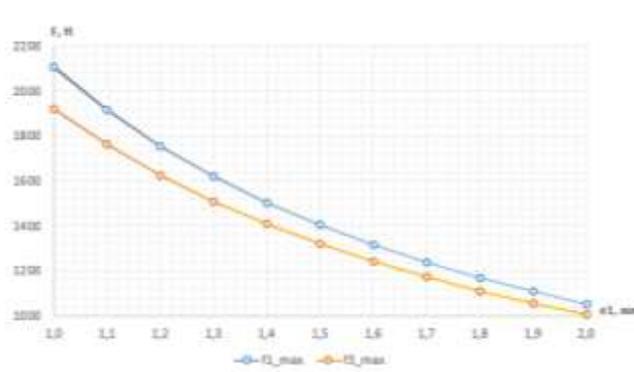


Рис. 2. График изменения максимального усилия в зависимости от эксцентриситета при $e_3 > e_1$

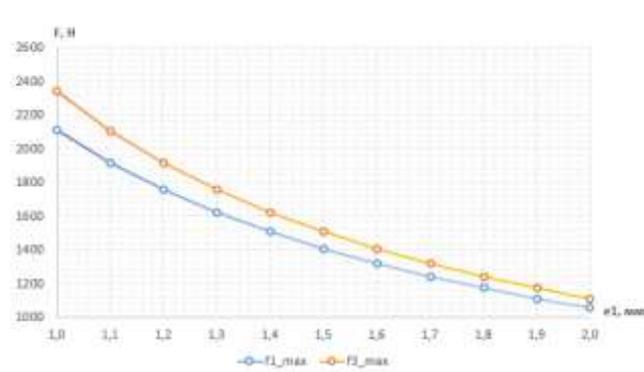


Рис. 3. График изменения максимального усилия в зависимости от эксцентриситета при $e_3 < e_1$

Как можно заметить, при увеличении эксцентриситетов максимальные усилия обоих зацеплений уменьшаются. Но при этом, при зацеплении, когда $e_3 < e_1$ максимальное усилие больше чем когда $e_3 > e_1$.

Таким образом, показано, что при увеличении эксцентриситета в двухполосной циклоидальной передаче с ПТКСО усилия в зацеплении уменьшаются, в тоже время максимальное усилие в зацеплении ниже, когда эксцентриситет зацепления тел качения с венцом больше эксцентриситета зацепления тел качения с кулачком.

Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. – Томск: ТПУ, 1992. – 231 с.
2. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой: учебной пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 90 с.
3. Русин А.А., Нелюбин К.С., Ефременков Е.А. Особенности распределения усилий в двухполосной передаче с промежуточными телами качения и свободной обоймой // Современные проблемы машиностроения. Сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 49–51.
4. Русин А.А., Ефременков Е.А. Разработка алгоритма расчета усилий в зацеплении двухполосной передачи с промежуточными телами качения // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения – 2024. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию основания научного подразделения «Институт механики имени профессора Гольдфарба В.И.». – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2024. – С. 103–111.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕЗЬБЫ, В САД-СИСТЕМАХ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Сенчило В.П.

НИ ТПУ, ИШНПТ, группа 4А21

Черемускина М.С., старший преподаватель ОМШ ИШНПТ ТПУ

e-mail: vps16@tpu.ru

Для повышения продуктивности работы конструкторов и технологов, а также улучшения качества разрабатываемой ими продукции, необходимо применять объемные модели в качестве основных объектов проектирования. Твёрдотельные модели обладают рядом преимуществ: они обеспечивают полное определение объема и формы, позволяют автоматически создавать трехмерные разрезы проектируемого изделия, что особенно полезно при анализе сложных сборочных единиц; обеспечивают автоматическое получение точных значений массы, площади поверхности, центра тяжести и момента инерции для каждой детали или изделия в целом; способствуют более эффективной имитации движения инструмента или рабочих органов изделия; предлагают разнообразную палитру цветов, управление цветовой гаммой и создание тоновых эффектов, что в свою очередь улучшает качество визуализации формы.

При 3D-моделировании сборочных единиц необходимо также изображать детали с резьбой. Для упрощения резьбовые поверхности часто заменяют гладкими цилиндрическими или коническими формами, однако в некоторых расчетных задачах требуется полное определение резьбовой поверхности.

Мы рассмотрим моделирование резьбы в двух программах: КОМПАС-3D и SolidWorks.

Алгоритм создания резьбы:

1. Создаем цилиндр с диаметром равным номинальному диаметру резьбы и нужной нам длиной.
2. Создаем цилиндрическую спираль с диаметром равным номинальному диаметру резьбы, шагом равным шагу резьбы и длиной, на которую хотим резьбу нарезать и ставим начало её координат на торце цилиндра.
3. Создаем профиль впадины резьбы и располагаем её в начале спирали, находящейся на торце цилиндра.
4. С помощью вырезания выдавливанием по траектории нарезаем резьбу (рис. 1).

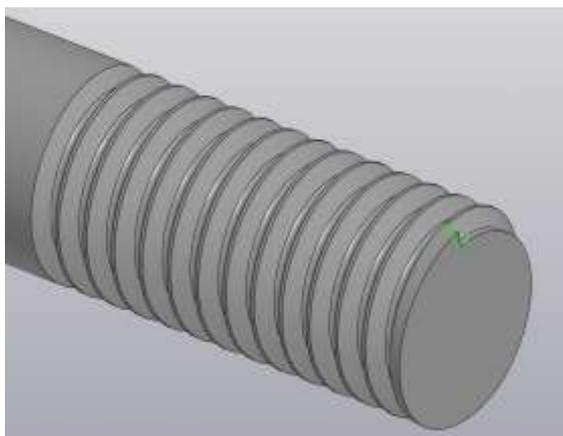


Рис. 1. Резьба, полученная в Компас

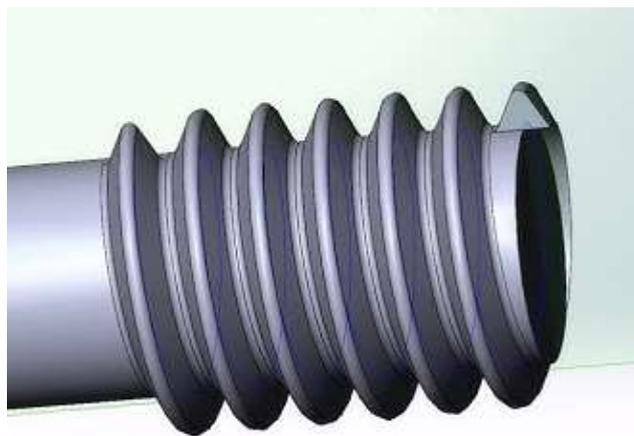


Рис. 2. Резьба полученная в SolidWorks

5. Создаем на торце фаску.

По этому алгоритму методом SD-печати были изготовлены две резьбы: M10×1,5 в КОМПАС-3D (рис.2) и упорная резьба M26×3 в SolidWorks (рис. 3).



Рис. 2. Резьба, полученная из модели, выполненной в КОМПАС



Рис. 3. Резьба, полученная из модели выполненной в SolidWorks

После печати обеих моделей на 3D-принтере можно сказать, что они получились удовлетворительными, но еще нуждаются в дополнительной обработке для лучшего соединения с другими деталями. Также следует учитывать усадку и расширение пластика и корректировать размеры для последующей сборки.

Существует ряд рекомендаций для эффективного нанесения резьбы на 3D-модели. Необходимо придерживаться больших размеров (M6), уменьшение концентрации напряжения происходит с помощью закругления углов и использования профиля резьбы, предназначенные для пластмасс. В случае выбора винтов меньшего размера необходимо корректировать резьбу для более надежного крепления. Например, печать профиля полукруглой резьбы (на винте и гайке) и использование смещения 0,1 мм обеспечивает лучшее прилегание и повышает износостойкость.

Список литературы

1. Дятлов М.Н., Авдеюк Д.Н., Авдеюк О.А. Проектирование, изображение и визуализация резьбовых поверхностей с использованием современных CAD-систем // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 57–60. – URL <https://moluch.ru/archive/53/7037/> (дата обращения: 17.11.2024).
2. ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – URL: <https://ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf?ysclid=m3liq0itgs943290345> (дата обращения: 17.11.2024).
3. Создание и редактирование резьбы в КОМПАС-3D – Студия Vertex. – URL: <https://autocad-lessons.com/sozдание-i-redaktirovanie-rezby-v-kompas-3d/?ysclid=m3lijuhohq272662010> (дата обращения: 17.11.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВХОДНОГО ВАЛА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА

Сильнягин А.Н.¹, Черемискина М.С.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4А21

e-mail: ans87@tpu.ru

²НИ ТПУ, отделение машиностроения, старший преподаватель

e-mail: mcherry@tpu.ru

Проектирование прочных валов редукторов является ключевым этапом в создании надежных и эффективных механических передач. Валы редукторов воспринимают значительные статические и динамические нагрузки, которые возникают в процессе работы машин и механизмов. От качества их проектирования зависит не только долговечность самого редуктора, но и безопасность всего оборудования.

Для достижения необходимых прочностных характеристик в процессе проектирования учитываются различные факторы, такие как материал вала, размеры и форма, а также условия эксплуатации. Использование современных методов расчета, таких как конечные элементы и прочностные анализы, позволяет точно оценить нагрузки и предсказать возможные точки разрушения.

Цель исследования – анализ прочностных характеристик входного вала двухступенчатого червячного редуктора. Исследование, способен ли входной вал выдерживать нагрузки, возникающие в процессе работы редуктора.

Расчеты вала на прочность. Основными нагрузками на валы являются силы от передач. Силы на валы передают через насаженные на них детали. При расчетах принимают, что насаженные на вал детали передают силы и моменты валу на середине своей ширины. Под действием постоянных по значению и направлению сил во вращающихся валах возникают напряжения, изменяющиеся по симметричному циклу.

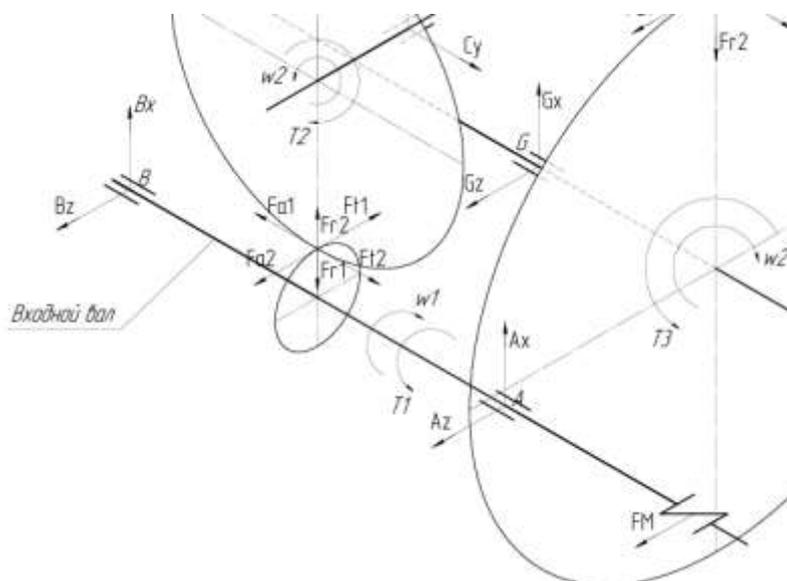


Рис. 1. Схема нагружения внешних сил на входном валу двухступенчатого червячного редуктора

Расчет на статическую прочность. Проверку статической прочности выполняют в целях предупреждения пластических деформаций в период действия кратковременных перегрузок (при пуске, разгоне, реверсировании, торможении, срабатывании предохранительного устройства).

В расчете определяют нормальные σ и касательные τ напряжения в рассматриваемом сечении вала при действии максимальных нагрузок:

$$\sigma = \frac{10^3 M_{max}}{W} + \frac{F_{max}}{A}; \tau = \frac{10^3 M_{кmax}}{W_k},$$

где $M_{max} = K_{\Pi}(\sqrt{M_x^2 + M_y^2} + M_{кон})$ – суммарный изгибающий момент, Н·м; $M_{кmax} = T_{max} = K_{\Pi}T$ – крутящий момент, Н·м; $F_{max} = K_{\Pi}F_a$ – осевая сила, Н; W и W_k – моменты сопротивления сечения вала при расчете на изгиб и кручение, мм³; A – площадь поперечного сечения, мм².

Частные коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям:

$$S_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma}; S_{T\tau} = \frac{\tau_T}{\tau}.$$

Общий коэффициент запаса прочности по пределу текучести при совместном действии нормальных и касательных напряжений:

$$S_T = \frac{S_{T\sigma} \cdot S_{T\tau}}{\sqrt{S_{T\sigma}^2 + S_{T\tau}^2}}.$$

Статическая прочность обеспеченная, если $S_T \geq [S_T]$, где $[S_T] = 1.3 \dots 2$.

Моменты сопротивления W при изгибе, W_k при кручении и площадь A вычисляют по нетто-сечению: для сплошного круглого сечения диаметром D :

$$W = \pi D^3 / 32; W_k = \pi D^3 / 16; A = \pi D^2 / 4.$$

Расчет на сопротивление усталости.

Расчет коэффициента S запаса прочности:

$$S = S_{\sigma} \cdot S_{\tau} / \sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2} \geq [S], [S] = 1.5 - 2.5,$$

где S_{σ} и S_{τ} – коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям.

$$S_{\sigma} = \sigma_{-1D} / (\sigma_a + \psi_{\sigma D} \sigma_m); S_{\tau} = \tau_{-1D} / (\tau_a + \psi_{\tau D} \tau_m),$$

Здесь σ_a и τ_a – амплитуды напряжений цикла; σ_m и τ_m – средние напряжения цикла; $\psi_{\sigma D}$ и $\psi_{\tau D}$ – коэффициенты чувствительности к асимметрии цикла напряжений для рассматриваемого сечения.

В расчетах валов принимают, что нормальные напряжения изменяются по симметричному циклу $\sigma_a = \sigma_m$ и $\sigma_m = 0$, а касательные напряжения – по отнулевому циклу: $\tau_a = \tau_m / 2$ и $\tau_m = \tau_a / 2$.

Тогда

$$S_{\sigma} = \sigma_{-1D} / \sigma_a.$$

Напряжения в опасных сечениях вычисляют по формулам

$$\sigma_a = \sigma_m = 10^3 M / W; \tau_a = \tau_m / 2 = 10^3 M_k / (2W_k),$$

где M – результирующий изгибающий момент, Н·м; M_k – крутящий момент, Н·м; W и W_k – моменты сопротивления сечения вала при изгибе и кручении, мм³.

Пределы выносливости вала в рассматриваемом сечении:

$$\sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\sigma D}; \tau_{-1D} = \tau_{-1} / K_{\tau D},$$

где σ_{-1} и τ_{-1} – пределы выносливости гладких образцов при симметричном цикле изгиба и кручения; $K_{\sigma D}$ и $K_{\tau D}$ – коэффициенты снижения предела выносливости.

Таким образом, представлен метод анализа прочностных характеристик вала, в котором рассчитывается коэффициент запаса прочности, показывающий способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчётных.

Список литературы

1. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 12-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 496 с.

2. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие. – Изд-е 2-е, перераб. и дополн. – Калининград: Янтар. Сказ. 2002. – 454 с.: ил., черт. – Б. ц.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КРИВОШИПНО-КОЛЕННОГО ПРЕССА

Смирнов И.П.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр.4А32

Кривошипно-коленный пресс был изобретён в 1988 году Кадковым Николаем Павловичем и Мезенцевым Владимиром Малафеевичем. Это пресс, в котором используется кривошипно-коленный исполнительный механизм. Он предназначен для операций холодной объёмной штамповки, требующих высоких давлений при малых ходах: чеканка, правка, калибровка, объёмная формовка.

Также существуют кривошипно-коленные прессы для холодного выдавливания металла, которые используются для изготовления методом выдавливания в холодном состоянии различных изделий типа стаканов и стержней.

Сам механизм кривошипно-коленного прессы устроен так что:

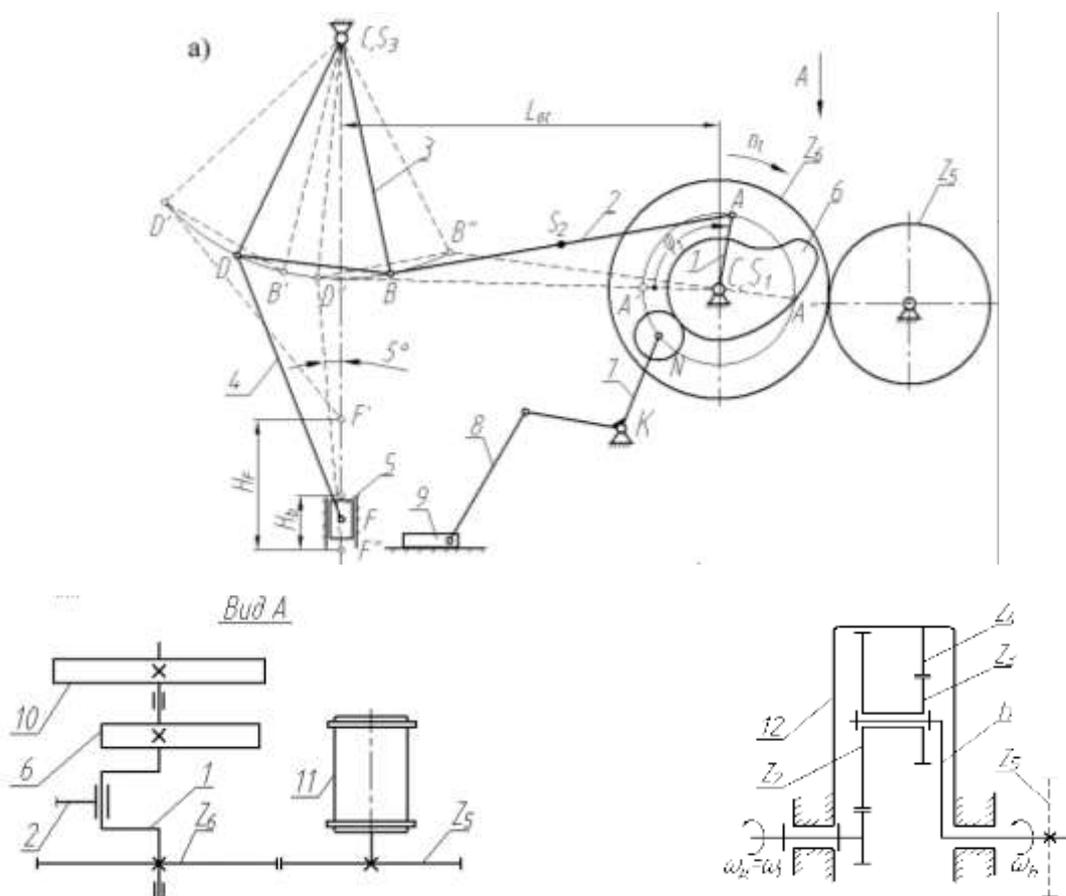


Рис. 1. Кинематическая схема кривошипно-коленного прессы

Высадочный (основной) механизм 1, 2, 3, 4, 5 является кривошипно-коромысловым. Коромысло 3 выполнено в виде шарнирного треугольника. Благодаря такой схеме рабочие скорости ползуна в конце хода малы, жесткость механизма прессы увеличивается. Подача заготовки производится при холостом ходе (вверх) ползуна 5. Механизм подачи состоит из кулачка 6, закрепленного на коленчатом валу 1, коромыслового толкателя 7 и тяги 8 с ползуном 9, снабженным приспособлением для подачи заготовки.

Коленчатый вал 1 высадочного механизма приводится в движение от электродвигателя 11 при помощи планетарного редуктора 12 (число сателлитов $K = 3$, модуль $m_1 = 2$ мм) и зубчатой

передачи Z_5, Z_6 (модуль $m = 5$ мм). Маховик 10 размещен на валу 1 (рис. 8, а). Высадочный ползун 5 с закрепленным в нем пуансоном, совершая по вертикали возвратно-поступательное движение, осуществляет деформацию заготовки.

Порой расчеты подобных механизмов могут вызвать затруднения для тех, кто с этим связывается, поэтому мы обозначим некоторые пункты, где стоит заострить внимание:

- Отсутствие надёжной связи поперечин (опорных пластин) со стойками (боковыми пластинами). Это приводит к резкому усилению силовых потоков через угловые зоны, что может вызвать разрушение конструкции станины.

- Неучёт сил трения. Например, для определения полного крутящего момента необходимо учесть силы трения в опорах кривошипного вала.

- Неправильный расчёт коленчатого вала. Размеры вала определяют по номинальному усилию пресса на основании имеющихся эмпирических соотношений.

Неучёт явления заклинивания механизма. Оно может произойти в случае перегрузки при недостаточном запасе энергии маховика или нарушении связи коленчатого вала с приводом.

Также нужно знать особенности этого механизма, такие как:

- **Станина** цельносварная из стального проката повышенной жёсткости, состоит из двух стоек, стола, траверсы. К стойкам станины крепятся Г-образные призматические регулируемые направляющие.

- **На столе пресса** установлена подштамповая плита с Т-образными пазами для крепления нижней части штампа.

- **Ползун** сварной коробчатой формы, перемещается в регулируемых направляющих. Внутри ползуна встроен механический верхний выталкиватель.

- **Привод** двухступенчатый с валами, расположенными перпендикулярно фронту пресса. Движение от электродвигателя передаётся через клиноременную передачу, маховик и муфту-тормоз на вал-шестерню, которая входит в зацепление с блоком зубчатых колёс.

- **Коленно-рычажный механизм** расположен внутри удлинённого ползуна.

- **Регулировка** закрытой высоты пресса (межштампового пространства) – от индивидуального электродвигателя, величина регулировки контролируется микровыключателями.

- **Удаление готовых изделий** производится с помощью верхнего и нижнего выталкивателей.

- **Пресс оснащён** автоматической централизованной системой циркуляционной жидкой смазки.

Ознакомившись с механизмом более подробно, можно и подумать о его улучшении, вот пара идей:

1. Улучшение материалов: Использование более прочных и легких материалов может снизить вес конструкции и увеличить ее долговечность.

2. Оптимизация геометрии: Пересмотр углов и размеров компонентов может привести к более равномерному распределению нагрузки и уменьшению износа.

3. Снижение трения: Внедрение современных смазочных систем или использование подшипников с низким коэффициентом трения может повысить эффективность работы.

4. Автоматизация: Внедрение автоматизированных систем управления для оптимизации процесса прессования и повышения точности.

5. Системы мониторинга: Установка датчиков для мониторинга состояния механизма в реальном времени может помочь в профилактическом обслуживании и предотвращении поломок.

6. Энергоэффективность: Оптимизация системы привода для снижения потребления энергии, например, с помощью использования электродвигателей с переменной частотой.

7. Улучшение системы управления: Интеграция современных систем управления для более точного контроля процессов и повышения гибкости.

8. Модульность конструкции: Проектирование с учетом возможности замены отдельных компонентов без необходимости полной разборки устройства.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ

*Спиридонов А.В. группа 4А21
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: avs331@tpu.ru*

Несмотря на появление прогрессивных технологий, на сегодняшний день нет альтернативы подшипникам и подшипниковым узлам. Эксплуатационная надежность машин и приборов в большой степени определяется статической и динамической грузоподъемностью подшипников качения, их эксплуатационной работоспособностью, быстроходностью и долговечностью, а также величиной энергетических потерь в них. Обычно под надежностью понимают отсутствие отказов в работе на протяжении эксплуатационного ресурса, обусловленных любыми причинами конструктивного, технологического или эксплуатационного характера. Применительно к подшипникам можно говорить о надежности лишь при соблюдении всех технических требований производства и эксплуатации.

Долговечность подшипников определяется факторами, которые можно разделить на три группы.

Конструктивные факторы. Как и предполагается из названия эти факторы связаны с конструкторскими решениями, принятыми на этапе проектировки подшипника. Таких как: должный выбор материала, из которого будет выполнен подшипник, улучшают стойкость к износу и коррозии, эффективная система смазки предотвращает перегрев и конструкции подшипников; установление необходимых соотношений размеров их деталей и назначение рациональных внутренних зазоров позволяет равномерно распределять нагрузки и улучшать распределение давления; разработка принципиально новых типов опор качения.

Технологические факторы. Эти факторы относятся к технологии производства подшипников, таких как: выбор режимов механической и термической обработки для используемых материалов и рациональных методов получения их заготовок, что улучшает точность и качество деталей подшипников; обеспечение надлежащего операционного и окончательного контроля для выявления дефектов на любом этапе производства; автоматизация процессов изготовления и контроля для повышения точности производства.

Факторы, связанные с непосредственным применением подшипников и подшипниковых узлов в машинах: правильный выбор подшипников в соответствии с характером нагрузки: неравномерные, чрезмерные или динамические могут привести к быстрому износу и выходу подшипников из строя, скоростью вращения и рабочей температурой; обеспечение необходимых посадок и соосности посадочных мест поможет избежать дополнительные перегрузки и повышению эффективности работы; надлежащая смазка и уплотнение подшипников; грамотная техника монтажа и эксплуатации подшипников. Одним из важнейших факторов, влияющих на надежность подшипников качения, является правильный выбор радиальных зазоров для каждой группы подшипников.

Расчетный ресурс работы подшипников качения может быть надежно обеспечен только при условии соблюдения надлежащего режима смазки и теплоотвода. Значительное улучшение условий работы подшипника обеспечивает герметизация подшипникового узла за счет использования смазки под давлением, масляного тумана или консистентной смазки, которые в большей или меньшей степени способствуют предотвращению проникновения извне в корпус подшипника пыли, газов, влаги и других загрязняющих веществ. В то же время скопление в корпусе чрезмерного количества смазки ухудшает работу подшипника, ибо на ее перемешивание затрачивается избыточная энергия, переходящая в тепло, что повышает температуру подшипника и узла в целом.

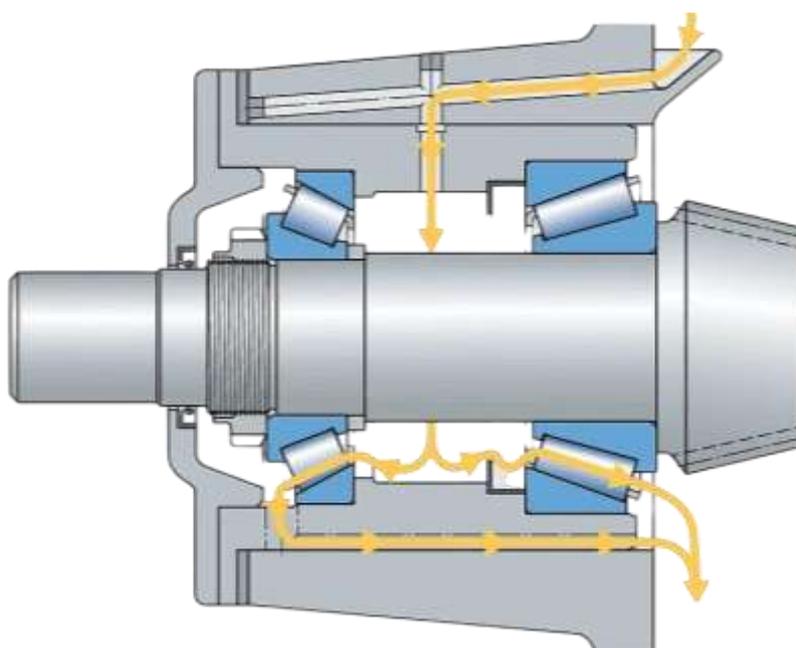


Рис. 1. Система смазки роликовых радиально упорных подшипников

На рисунке 1 показана система смазки подшипников электродвигателя

При недостаточном теплоотводе, особенно при высоких скоростях, наблюдается отпуск металла на тела качения и желобах колец, быстро приводящий к взаимному наволакиванию металла на рабочие поверхности с последующим заземлением подшипника.

Таким образом, мы имеем множество факторов, влияющих на надёжность и долговечность подшипников. Фактический срок службы подшипника можно увеличить если должным образом соблюдать эксплуатационный режим, что не всегда получается и приводит к преждевременным выходам из строя.

Список литературы

1. Слепова А.Ш. Анализ факторов, влияющих на износ подшипников / *Механика и машиностроение* 2017 год. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-iznos-podshipnikov>
2. Беспалов А.С. Влияние различных факторов на надежность и долговечность подшипников/ текст: электронный
3. Санкт-Петербургский государственный экономический университет// Инх. Конспект лекций МРИ / Л.8. Подшипники качения 2015 год С. 6 текст электронный// Url:<https://studfile.net/preview/2800923/page:5/>
4. Черемискина, М.С. Проскальзование в подшипниках качения / М.С. Черемискина, И. Боюн // *Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции*, г. Томск, 22–25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – *Современные проблемы машиностроения.* – С. 38–39. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74436>
5. Черемискина, М.С. Повреждения подшипников качения / М.С. Черемискина, И.С. Боюн, Н.А. Толмачев // *Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции*, г. Томск, 25–30 октября 2021 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. Е.Н. Пашкова. – 2021. – *Современные проблемы машиностроения.* – [С. 48-49]. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/69118>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ «ПРЕССА-АВТОМАТА»

*Черченко В.К.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А31,
e-mail: vkc4@tpu.ru*

Пресс-автомат – это специализированное оборудование, предназначенное для выполнения процессов прессования. Он используется в различных отраслях, включая производство металлоизделий, пластмасс, бумаги и других материалов.



Рис. 1. Внешний вид пресс-автомата

Основные функции пресс-автомата

- **Прессование:** Применение силы для формирования или уплотнения материала. Это может быть как холодное, так и горячее прессование.
- **Формовка:** Создание изделий заданной формы и размера из сырья (например, металла или пластика) с помощью пресс-форм.
- **Автоматизация процессов:** Пресс-автоматы часто оснащены системами автоматизации, которые позволяют контролировать процесс прессования, уменьшать время на его выполнение и повышать точность.
- **Увеличение производительности:** Использование пресс-автоматов позволяет значительно увеличить объем производства по сравнению с ручными методами.

Существует несколько типов пресс-автоматов, включая гидравлические, механические и пневматические, каждый из которых имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретных задач и материалов.

Необходимые факторы для улучшения работоспособности

- **Оптимизация механической схемы:** Проектирование пресс-автоматов должно начинаться с выбора оптимальной механической схемы, которая обеспечивает необходимую производительность и минимальные затраты на эксплуатацию. Эффективное проектирование систем охлаждения и смазки механизмов пресса-автомата критически важно для предотвращения перегрева и износа деталей.

- Модульность конструкции: Проектирование пресс-автоматов с модульной конструкцией упрощает их обслуживание и модернизацию, позволяя быстро заменять или обновлять отдельные узлы.
- Устойчивость к нагрузкам: Исследование механических свойств материалов и конструкций, применяемых в пресс-автоматах, необходимо для обеспечения устойчивости к динамическим и статическим нагрузкам.
- Безопасность эксплуатации: Проектирование должно учитывать все аспекты безопасности, включая защитные устройства, системы аварийной остановки и эргономику рабочего места для операторов.
- Выбор материалов: Исследование и использование высокопрочных, легких и износостойких материалов для деталей пресса способствует увеличению срока службы оборудования и снижению его веса.
- Автоматизация процессов: Внедрение автоматизированных систем управления и мониторинга позволяет повысить точность операций, уменьшить время простоя и улучшить качество продукции.

Сильные стороны механизма

Высокая производительность: Пресс-автоматы способны выполнять большое количество операций за короткое время, что увеличивает общую производительность.

Автоматизация процессов: Автоматизация снижает необходимость в ручном труде, что уменьшает вероятность ошибок и повышает точность.

Однородность продукции: Пресс-автоматы обеспечивают высокую степень однородности и качества готовой продукции.

Экономия времени: Быстрая настройка и работа устройства позволяют сократить время на производство.

Устойчивость к нагрузкам: Современные пресс-автоматы могут работать с различными материалами и выдерживать значительные нагрузки.

Слабые стороны механизма

Ограниченная гибкость: Некоторые пресс-автоматы могут быть менее гибкими в производстве различных изделий, особенно если они требуют частой перенастройки.

Ремонт и обслуживание: Пресс-автоматы требуют регулярного обслуживания и ремонта, что может привести к дополнительным затратам и простоям.

Безопасность: Работа с пресс-автоматами может быть опасной, если не соблюдаются меры безопасности, что требует дополнительных затрат на обучение и защитное оборудование.

Зависимость от электроэнергии: Пресс-автоматы требуют постоянного электроснабжения, что может быть проблемой в условиях перебоев с электричеством.

Список литературы

1. Теория механизмов и машин: учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
2. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / Сысоев С.К., Сысоев А.С., Левко В.А. – Издание 3-е. – 2024.
3. Трусовский, Виктор Иванович. Прессы-автоматы для обработки порошковых материалов: учеб. пособие для вузов / В.И. Трусовский, Л.А. Барков, В.К. Плотников. – Челябинск: Металл, 1994.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРНИ МЕТОДОМ ОБМЕРА

Эшматов А.К.

Студент гр. 4А22 НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

e-mail: akeб@tpu.ru

В процессе ремонтных работ редукторов или зубчатых передач, довольно часто наблюдается износ зубчатых колес, требующий их замены. Наиболее простым случаем считается, если есть техническая документация с указанием требуемых параметров для изготовления заменяемого колеса. Нередки случаи, когда документация бывает утеряна или в ней, отсутствуют некоторые ключевые параметры. Для косозубых шестерен, одним из ключевых параметров является угол наклона зубьев. Точное измерение этого угла имеет решающее значение для обеспечения правильной работы зубчатого зацепления.

Существует несколько методов для измерения угла наклона:

- метод обмера (обкатки): прокатка шестерни по листу бумаги для визуальной оценки угла наклона отпечатков зубьев. Этот метод подходит для быстрой проверки и не требует специализированного оборудования.

- математический расчет: использование формулы, связывающей угол на цилиндре вершин с делительным диаметром шестерни. Специализированное оборудование: зубомерные приборы и другие инструменты, позволяющие проводить измерения с высокой точностью.

Рассмотрим более подробно метод обмера (обкатки):

Для определения угла наклона зубьев методом обмера потребуется чистый лист бумаги, металлический угольник, транспортир, краска или иной красящий материал (рис. 1).

Порядок действий:

1. На край стола или верстака укладывается лист бумаги, сверху накладывается угольник и прижимается струбциной.
2. Колесо или шестерня очищаются от технической грязи.
3. Вершины зубьев равномерно красятся красящим материалом.
4. Далее колесо прокатывается вдоль угольника. Зубья оставят следы на бумаге.
5. Затем при помощи транспортира измеряют угол.

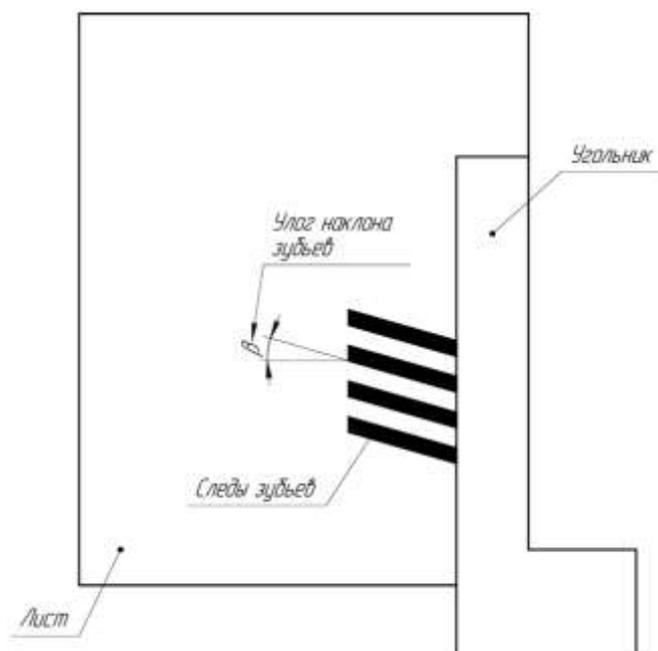


Рис. 1. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки)

Этот метод подходит для быстрой проверки и не требует специализированного оборудования. Однако стоит учитывать, что данный метод имеет погрешности и расчет может быть выполнен неверно.

Для уменьшения погрешности определения угла наклона можно воспользоваться САД-системами.

Данный метод подразумевает замену инструментов измерения (транспортир) на функции САД-систем. Есть 2 варианта использования данного метода:

Первый вариант использует отпечаток, полученный методом обмера. Загрузив изображение отпечатка в САД-систему, с помощью имеющихся функций можем определить угол наклона зубьев (рис. 2).

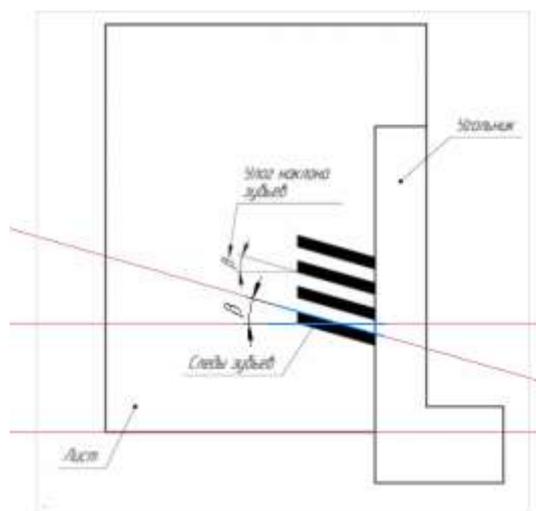


Рис. 2. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки) с помощью САД-системы

Второй вариант подразумевает использование фотографии самой шестерни, закрепленной на валу. Выполняется фотография колеса или шестерни, которые требуется заменить, вид сверху (несколько фотографий с разными зубьями). Далее фотографии загружаются в САД-систему, где с помощью вспомогательной геометрии проводится обработка и замеряется угол.



Рис. 3. Схема выполнения измерений методом обмера (обкатки) с помощью САД-системы и фотографии

Оба этих варианта позволяют избежать погрешности измерительного инструмента, одна стоит учитывать, что во втором варианте верное определение угла наклона зубьев во многом зависит от положения камеры и особенностей фотокамеры.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО СТАНКА С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Масловский А.А.¹, Крауиньш Д.П.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4НМ41,

e-mail: aam167@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, к.т.н. доцент ОМШ,

e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru

В условиях современного машиностроения, где требования к точности и производительности постоянно растут, разработка и внедрение новых технологий становятся ключевыми факторами успеха. Одним из перспективных направлений является проектирование фрезерных малогабаритных станков с ЧПУ, способных обрабатывать стали и сплавы. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты проектирования таких станков.

Станки для обработки сталей и сплавов должны обладать высокой жесткостью, в большинстве случаев, достаточной жесткостью для обработки сталей, обладают крупногабаритные станки, в которых повышенная жесткость обеспечивается тяжелым корпусом, такие станки требуют размещения в больших помещениях. В свою очередь настольные станки имеют малую жесткость, и подходят для обработки древесины, пластмасс и цветных металлов. Настольные станки для обработки сталей могут использоваться на производстве, где изготавливаются детали малых размеров, в опытных лабораториях, для создания единичных деталей для ремонта, в учебных заведениях для лабораторных работ по теории резания.

Первым этапом проектирования является анализ компоновок малогабаритных станков с ЧПУ и создание кинематической схемы станка, которая предоставлена на рис. 1. Отталкиваясь от схемы будет осуществлено проектирование станка.

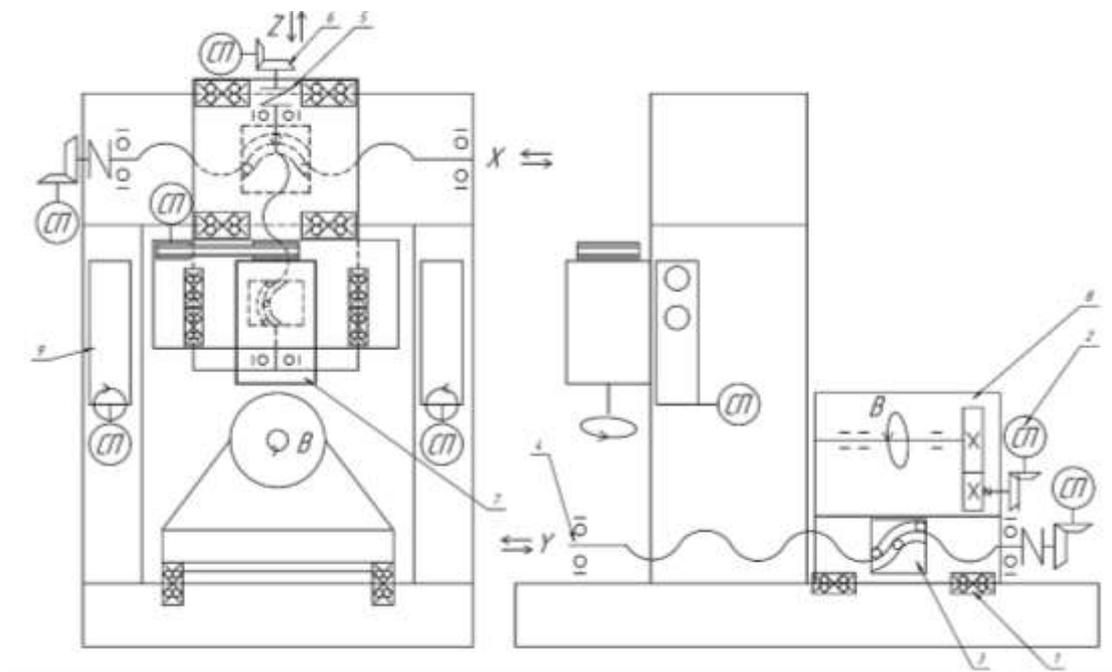


Рис. 1. Кинематическая схема станка:

1 – шариковые рельсовые направляющие; 2 – сервопривод; 3 – шариковинтовая передача; 4 – опора шпн;
5 – муфта; 6 – редуктор; 7 – шпиндель; 8 – поворотный стол; 9 – магазин смены инструмента

В кинематической схеме станка отражены модули перемещения станка по 3 координатам и ось поворота В. Станок представляет из себя станину портального типа, сверху портала, размещен модуль перемещения по осям X и Z, крестового типа, на нем закреплен шпин-

дель, на основании станины размещен модуль перемещения Y, на нем расположена поворотная ось В с закрепленным на нем рабочим столом, представляющая из себя шпиндельный узел, на опорах станины расположены слоты инструментального магазина.

Использование технологий цифрового производства CAD/CAM/CAE позволяет значительно повысить эффективность и точность проектирование станков и ускоряет создание конструкторской документации. Создание 3D-моделей помогает для визуализации габаритных размеры, коллизий подвижных элементов. При помощи CAE можно быстро произвести прочностные расчеты узлов, для определения оптимальных конструкций и использовать оптимизацию топологии для уменьшения массы готового изделия.

В рамках работы была создана концептуальная 3D-модель станка (рис. 2, б), которая соответствует кинематической схеме, созданной ранее.

Учитывая, что при резании металлов достигаются высокие температуры и возможен вылет стружки на большой скорости, была разработана защитная тумба (рис. 2, а). В тумбе размещено оборудование, для обслуживания станка и электронику, на тумбу установлен кожух который будет изолировать зону резания, что предотвратит, возможные аварийные факторы, на поверхности тумбы предусмотрены каналы для слива СОЖ.

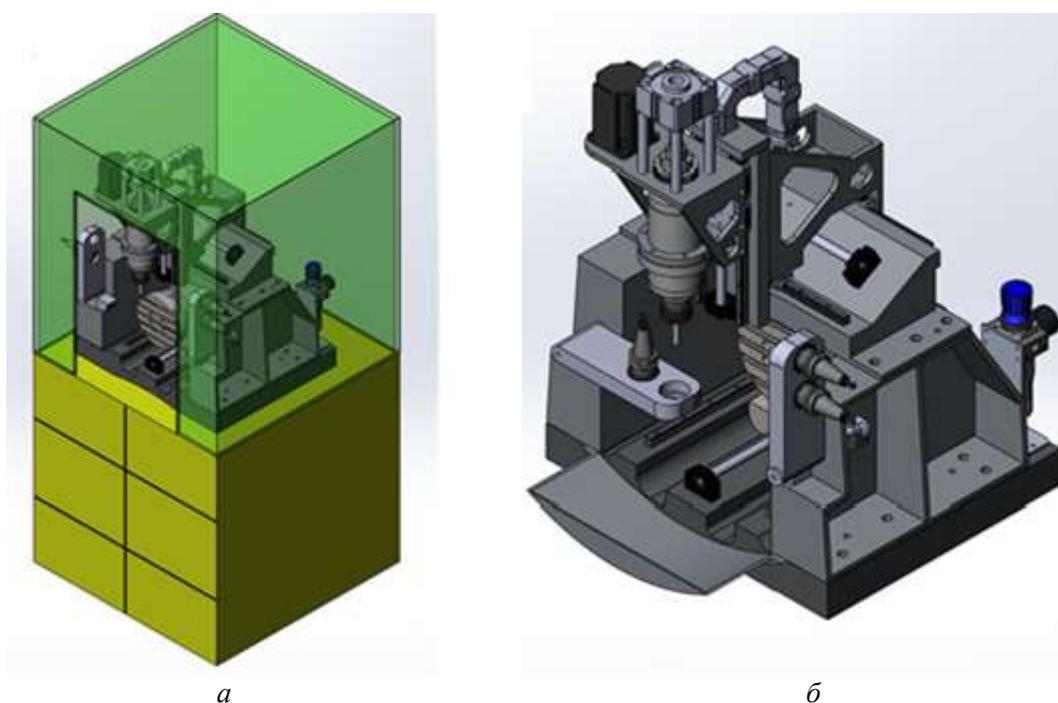


Рис. 2. Малогабаритный 4-х осевой фрезерный станок с ЧПУ:
а – компоновка станка, с тумбой; б – станок без тумбы

В рамках текущей задачи была описана принципиальная кинематическая схема станка, создана его 3D-модель. Следующими шагами работы будет проработка узлов, уточнения размеров, создание КД, изготовление прототипа и производство самого станка.

В заключении, проектирование фрезерного малогабаритного станка с ЧПУ с использованием технологий цифрового производства является перспективным направлением в современном машиностроении.

Список литературы

1. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов; под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
2. Кочергин А.И. Конструирование и расчет станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш.шк., 1991. – 382 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Бахытханова А., НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ4К
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: abb9@tpu.ru*

Резьбовые соединения дают возможность сборки узлов деталей и машин с использованием резьбы, которая находится непосредственно на детали, также при помощи крепежных элементов таких, как – болты, шпильки, винты, гайки, которые бывают общего и специального назначения.

Крепежные элементы специального назначения применимы в ответственных узлах сборки конструкции. Ответственные крепежные соединения обладают мелким шагом резьбы и оснащены защитным покрытием.

Стоит вопрос в увеличении надежности резьбовых соединений. Следует рассмотреть причины, по которым повреждаются резьбовые соединения:

Тугое или недостаточное затягивание. Слишком сильное затягивание может привести к деформации детали, а недостаточное – к ослаблению соединения;

Усталостные нагрузки. Механические нагрузки, действующие на резьбовое соединение в течение длительного времени, могут привести к усталостному разрушению;

Смещение оси. Неправильное выравнивание резьбовых частей может создать дополнительные напряжения и привести к повреждению;

Вибрации. Постоянные вибрации могут ослабить резьбовое соединение и привести к его разрушению;

Коррозия. Воздействие влаги, химических веществ или высоких температур может вызвать коррозию резьбовых деталей.

При сборке резьбовых соединений необходимо соблюдать установленный порядок, к примеру, стягивание гаек по диагонали при креплении фланцев, чтобы избежать перекоса. Есть несколько методов контроля момента усилия при затягивании. Наиболее широко используемым является применение тарированных динамометрических ключей. Избыточный момент затяжки может привести к повреждению резьбы, ее срыву или вызвать текучесть материала стержня резьбового крепежного элемента, что приведет к ослаблению затяжки.

Методы повышения надежности резьбовых соединений

Увеличение надежности резьбовых соединений в машинах и механизмах осуществляется при помощи разработки конструктивных решений, внедрению технологических мероприятий и улучшение методик расчета.

К ним относятся высокая износостойкость и прочность витков резьбы, усталостная долговечность, как витков, так и стержня резьбы, уменьшение контактного давления под головкой болта и гайкой за счет применения жестких шайб вместо пружинных шайб и деформируемых пластин, а также оптимальные параметры высоты и формы микронеровностей на поверхности.

Основным расчетом для обеспечения увеличения надежности резьбовых соединений является расчёт момента затяжки M , (Н · м):

$$M = \chi \cdot F_{max} \cdot d, \quad (1)$$

где χ – коэффициент затяжки (обычно от 0,1 до 0,3 для стандартных материалов); F_{max} – максимальная осевая нагрузка на болт (Н); d – диаметр болта (м).

Для проверки прочности резьбового соединения необходимо убедиться, что максимальная осевая нагрузка F_{max} не превышает предела прочности болта:

$$F_{max} \leq \sigma_t \cdot A_t \quad (2)$$

где, σ_t – предельное напряжение на растяжение материала болта (Па); A_t – площадь поперечного сечения болта (м²).

$$A_t = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Чаще всего, увеличение надежности резьбовых соединений может быть достигнуто путем установки шайб (рис.1). Шайбы помогают равномерно распределить давление по поверхности соединения, что снижает риск повреждения деталей. Шайбы, особенно пружинные или зубчатые, помогают предотвратить ослабление соединения под действием вибраций и других внешних факторов. Шайбы облегчают процесс сборки и разборки резьбовых соединений, позволяя одновременно повысить надежность.

Список литературы

1. Курушин М.И., Курушин А.М., Курушин С.А. Новый способ повышения прочности резьбового соединения // Вестник машиностроения. 2012. – № 11. – С. 13–15.
2. Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Воронина М.В. Повышение надежности резьбовых соединений электромеханической обработкой // Записки Горного института. – 31.08.2017. – № 4 (226). – С. 456–461.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Шарафиева Р.Р.¹, Денисова Я.В.², Сопин В.Ф.³

*¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, соискатель
E-mail: Regina94sh19@gmail.com*

*²ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, к.э.н, доцент
e-mail: DenisovaYaV@corp.knrtu.ru*

*³ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ), г. Казань, д.х.н, профессор
e-mail: SopinVF@corp.knrtu.ru*

Эффективная и безопасная работа нефтегазового комплекса Российской Федерации невозможна без высококачественной продукции нефтегазового машиностроения, необходимой на всех этапах производственного цикла – от бурения и добычи до транспортировки, хранения и распределения углеводородных ресурсов. Качество продукции нефтегазового машиностроения, а именно нефтегазового оборудования – это не только задача производителя, но и ответственность всех участников нефтегазового цикла. Качество нефтегазового оборудования выявляется не только на этапе производства, но и, что более важно, в процессе эксплуатации, поэтому задача управления надёжностью оборудования в нефтегазовой отрасли сводится к систематическому контролю и целенаправленному воздействию на различные неблагоприятные факторы и условия эксплуатации, которые могут влиять на его эксплуатационные характеристики, такие как: абразивность и коррозионность среды, нестационарность режимов нагружения, колебания температуры и др.

Коррозия металла – серьёзная проблема для объектов нефтегазового машиностроения, и её последствия могут быть весьма разрушительными. Несмотря на усилия по предотвращению коррозии, анализ данных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2006–2022 гг. [1] свидетельствует о том, что коррозия продолжает оставаться одной из главных причин повреждений нефтегазового оборудования, вызывая утечки, разгерметизацию и возникновение пожаров.

Коррозия в нефтегазовой отрасли приводит к значительным финансовым потерям и экологическим проблемам. Приведем некоторые примеры. Так, в январе 2018 года на промысловом трубопроводе Ахтинского месторождения, принадлежащем ООО «Башнефть-Добыча», произошла авария, вызванная разгерметизацией трубопровода из-за внутренней язвенной электрохимической коррозии, что привело к загрязнению реки Кудушлинка [2]. В июле 2020 года на участке магистрального нефтепровода «Оха–Комсомольск-на-Амуре», принадлежащем ООО «РН-Сахалинморнефтегаз», произошёл нефтеразлив, вызванный также коррозией металла трубопровода и приведший к серьёзным экологическим последствиям [3].

Ингибиторная защита является важным аспектом обеспечения эксплуатационной надёжности нефтегазового оборудования от коррозии. Для повышения надёжности нефтегазового оборудования необходимо строго контролировать качество ингибиторов коррозии. Применение ингибиторов коррозии, которые не соответствуют установленным стандартам качества или утратили свои свойства в процессе хранения, может иметь серьёзные последствия для надёжности нефтегазового оборудования.

Наиболее важным параметром ингибитора коррозии является концентрация его активной основы, поскольку именно от её содержания зависит защитный эффект ингибитора. В большинстве случаев концентрацию активной основы определяют согласно методике, указанной в технических условиях производителя, используя гравиметрический метод, который

включает выпаривание растворителя и последующее взвешивание остатка. Остаток принимается за активную основу. Однако данный метод не даёт точного представления о концентрации действующих веществ в составе активной основы ингибитора [4].

Одним из значимых методов контроля эффективности ингибиторов коррозии является контроль его массовой концентрации в технологической среде. На сегодняшний день данный вид контроля регламентирован фотометрическим методом, имеющим серьёзный недостаток, а именно – его чувствительность к органическим азотным соединениям, серо- и фосфорсодержащим катионным ПАВ [5]. Данные вещества могут быть определены как ингибитор коррозии, что вносит существенную ошибку в получаемые результаты и в ряде случаев приводит к невозможности использования данной методики.

В связи с вышеизложенным, важно акцентировать внимание на необходимости усовершенствования методик контроля качества ингибиторов коррозии. Это позволит не только повысить эффективность защиты от коррозии, но и снизить эксплуатационные затраты, а также увеличить надёжность оборудования в нефтегазовом машиностроении.

Список литературы

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 10.11.2024).
2. В реку под Уфой из-за аварии на трубопроводе попала нефть. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20180122/1513067488.html> (дата обращения: 10.11.2024).
3. На нефтепроводе Оха-Комсомольск-на-Амуре снова произошел разлив нефтепродуктов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/news/incidental/651591-na-nefteprovode-okha-komsomolsk-na-amure-snova-proizoshel-razliv-nefteproduktov/> (дата обращения: 10.11.2024).
4. Суховерхов С.В. Современный подход к лабораторным испытаниям и входному контролю ингибиторов коррозии / С.В. Суховерхов, А.В. Бриков, П.А. Задорожный [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 7. – С. 54–57.
5. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА

Каличкин К.К.¹, научный руководитель Крауиньш Д.П.²

¹ТПУ, ОАР ИШНПТ гр. 4НМ31,

e-mail: kkk4@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИИШПТ, доцент,

e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru

Человечество в современных реалиях всё более зависимо от механизмов облегчающих и как в следствие повышающих производительность труда. С каждым годом необходимость в создании полноценного гуманоидного помощника становится всё востребованнее, в следствии этого конструктора разрабатывают новые функциональные виды гуманоидных роботов и манипулятора, обеспечивающие взаимодействие роботов с окружающей средой. Разработка новых видов манипуляторов с высоким передаточным отношением является одним из перспективных направлений робототехники. Для этого мной в прошлой статье были проанализированы новые модели роботов гуманоидов и разработан новый манипулятор руки гуманоида (рис. 1) позволяющий взаимодействовать роботу с предметами и инструментами

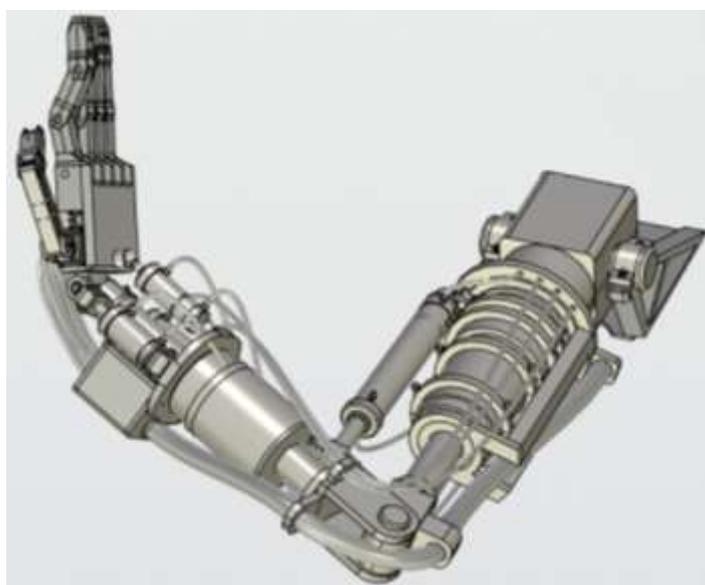


Рис. 1. Модель руки робота гуманоида

Смоделированная модель руки гуманоидного робота (рис. 1) разработана таким образом чтобы повторять очертания человеческой руки, обладать повышенной силой сжатия и плавностью движения. Основными приводами выступают мотор редуктора с большим передаточным отношением и высоким крутящим моментом необходимый гуманоидному роботу для перемещения объектов той же массы что и человек.

Схема кинематическая пара руки робота гуманоида (рис. 2) практически идентичны человеческой руке за исключением плече-лопаточного сустава и лучезапястного сустава, обусловлено это особенностью распределения приводов в руке гуманоидного робота для максимизации систем передач движения.



Рис. 2. Кинематическая схема руки робота гуманоида

Для проверки прочности модели руки робота гуманоида, был выполнен прочностной расчёт в программе T-Flex cad 17 analysis в котором была определена максимальная нагрузка на механизм (рис. 3) и собственные частоты модели (рис. 4).



Рис. 3. Прочностной расчёт руки робота гуманоида

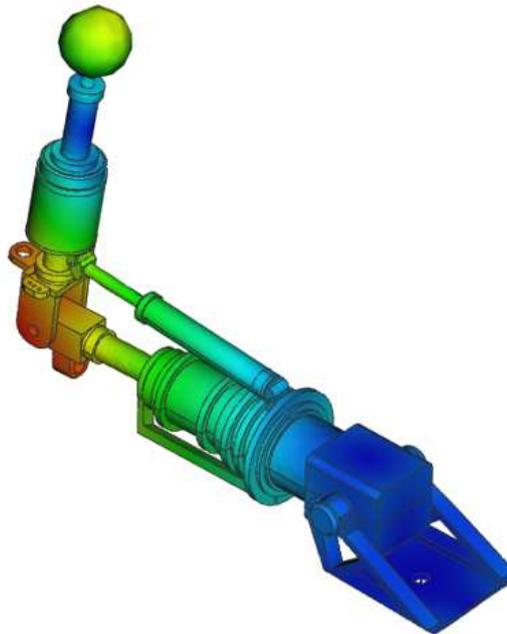


Рис. 4. Расчёт собственных частот руки робота гуманоида

Анализ прочности конструкции (рис. 3) показал максимальную нагрузку в 50 кг, которую можно существенно увеличить, изменив толщину пластины рамы держателя руки робота гуманоида.

Анализ собственных частот конструкции (рис. 4) указал резонансную частоту в 70,5 Гц в локтевом суставе.

Таким образом мы получили данные необходимые для последующего улучшения модели с целью создания новых моделей гуманоидных роботов.

Заключение

1. Разработка и применение гуманоидных роботов оказывает решающее значение на эффективность развития промышленного и социального устройства человеческого общества.

2. Решение современной проблемы малой мощности и высоких габаритов применяемых гидравлических и сервоприводов возможно только при разработке гуманоидных роботов, в том числе переход на качественно новые, обеспечивающие коренное повышение работоспособности.

3. При создании принципиально новых механических и информационных способов разработки гуманоидных роботов решится проблема безопасного использования человеческого труда и необходимости выполнения работы, сопряженной с высоким риском.

Список литературы

1. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / Д.П. Крауиньш; Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.: ил.

2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько. под ред. С.А.Васина, А.Ю.Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с.

3. Методологические особенности концептуального конструирования мехатронных систем в робототехнике / М.С. Кухта, П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, А.Д. Козлова // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04–07 декабря 2017 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники ; под ред. С.С. Михалевич [и др.]. – 2018. – Молодежь и современные информационные технологии. – С. 171–172. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46583>.

РАСЧЁТ РЕДУКТОРА РОБОТА ГУМАНОИДА

Каличкин К.К.¹, научный руководитель Крауиньш Д.П.²

¹ТПУ, ОАР ИШНПТ гр. 4НМ31,

e-mail: kkk4@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,

e-mail: dpkrauinjsh@tpu.ru

Актуальность разработки дизайна робота гуманоида с высоким количеством степеней подвижности обусловлена постоянным развитием робототехники и развитием нейросетевых программ. Гуманоидные роботы на данный момент всё ещё недостаточно функциональны и не могут в полностью взаимодействовать с окружающим их пространством. Современные модели представленные прототипы имеют огромное количество новых технических решений, но могут быть усовершенствованы путем разработки новых улучшенных приводов, а также применением новых конструкционных решений. Применение новых конструкционных решений позволит приблизиться к созданию гуманоидного робота способного в некоторой степени адаптироваться к окружающей среде на основе самообучаемой системы способной развиваться для решения задач.

Основной задачей гуманоидного робота является сокращение участия людей в особо опасных работах. Гуманоидные роботы благодаря особенности своего строения манипулятора могут взаимодействовать с инструментами человека.

Для успешного создания гуманоидного робота была проанализированы другие модели гуманоидных роботов (табл. 1):

1. Привод должен быть смешанным включая в себя гидравлику и сервопривода для максимальной эффективности гуманоидного робота.
2. Тип манипулятора обязан быть пятипальцевым с целью лучшего взаимодействия с окружающим миром.
3. Степеней подвижности робота должны быть аналогичны количеству степеней подвижности человеку.
4. Перемещаться робот должен на гуманоидные ногах.

Таблица 1

Анализ гуманоидных роботов

Модель	Привод	Тип манипулятора	Способ перемещения	Степени подвижности
ICUB	Механика	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	19
NAO	Механика	Трехпальцевый	Гуманоидные ноги	25
ISIMO	Сервопривода	Пятипальцевый и трехпальцевый	Гуманоидные ноги	57
Atlas Unplugged	Гидравлика	Отсутствует	Гуманоидные ноги	28
JUSTIN	Смешанный	Четырех пальцевый	Роликовый привод	25
REEM	Тросовой	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	44

При проектировании гуманоидного робота возникла необходимость в редукторе с высоким крутящим моментом и малом потреблении мощности.

На выбор было рассмотрено четыре типа редукторов:

1. Цилиндрический.
2. Червячный.
3. Конический.
4. Планетный.

Несмотря на высокое передаточное отношение червячного, малую стоимость цилиндрического и компактность планетарной был выбран конический редуктор благодаря своей простоте и малым габаритам, являющимися первостепенными при разработке гуманоидного робота

В процессе разработки гуманоидного робота было принято решение использовать синхронный мини мотор редуктор серии 60kty обладающий высоким крутящим моментом (табл. 2). Применяющегося в медицинском оборудовании и промышленной бытовой технике.

Таблица 2

Крутящий момент мотор редуктора 60kty 220v

Скорость об/мин	1,2	2,5	5	10	15	20	30	40	60
Крутящий момент, Н·м	7,65	7,65	4,59	2,45	1,63	1,22	0,82	0,61	0,41



Рис. 1. Мотор редуктор серии 60kty

На основе данного двигателя был разработан редуктор сустава гуманоидного робота (рис 2), обладающий передаточным отношением равным 2,91667 и применяемым в суставных сочленениях робота гуманоида. Также был проведен расчёт необходимых параметров и характеристик редуктора (табл. 3).

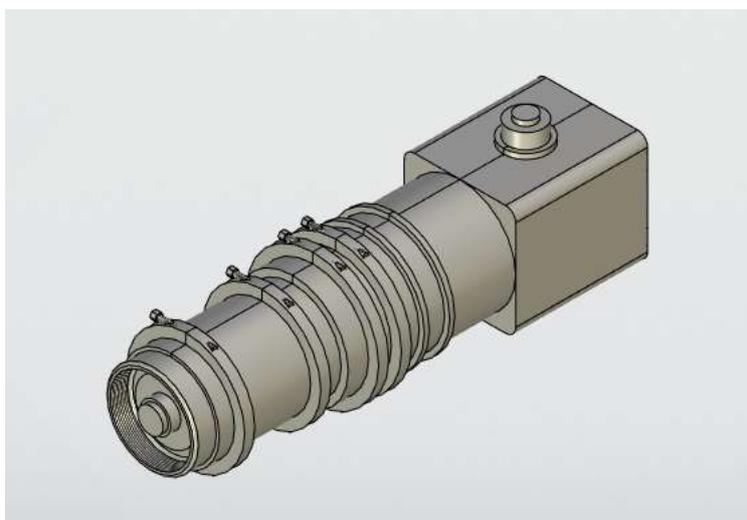


Рис. 2. Редуктор сустава гуманоидного робота

Параметры и характеристики редуктора сустава гуманоидного робота

Параметры	Числовые обозначения	Ведущая шестерня	Ведомая шестерня
Число зубьев	Z	12	35
Модуль	m	1,375	
Межосевой угол	Σ	90	
Ширина зубчатого венца	α	20	
Ширина зубчатого венца	b	5	
Передаточное отношение	u	2,91667	
Делительный диаметр	d	14,87832	43,3591
Внешняя высота зуба	h_e	3,025	3,025
Угол головки зуба	θ_a	3,71128	3,71128

Для подтверждения параметров редуктора в программе SolidWorks Motion, был проведен анализ редуктора сустава гуманоидного робота (рис. 2) в соответствии с этим построена эпюра крутящего момента двигателя (рис. 3) при вращении вала в 10 об/мин и крутящим моментом на выходном валу в 7,145 Н·м и эпюра потребления энергии (рис. 4) в Ваттах.

Формула соотношения мощности, крутящего момента и оборотов

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n_{max}}{9549}, \quad (1)$$

где N – мощность, кВт; $M_{кр}$ – Крутящий момент, Н·м; n_{max} – число оборотов двигателя, об/мин.

Мощность двигателя

$$N = \frac{2,45 \cdot 10}{9549} = 0,002565 \text{ кВт} = 2,565 \text{ Вт} \quad (2)$$

Данное значение подтверждает эпюра потребления энергии (рис. 4)

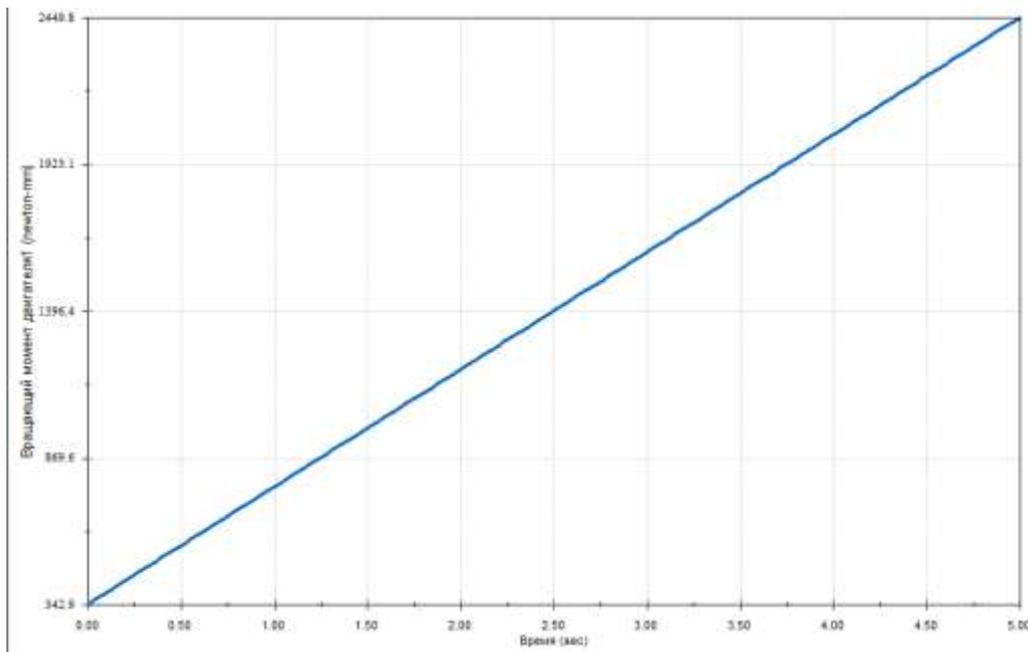


Рис. 3. Эпюра вращающийся момент двигателя

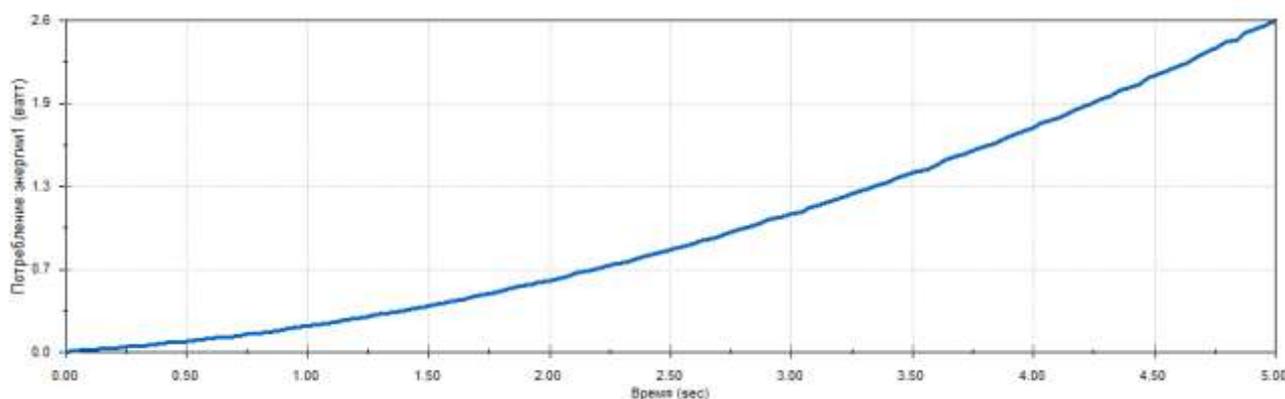


Рис. 4. Эюра потребления энергии двигателем

Таким образом получается, что применение похожих типов редукторов в робототехнике не только целесообразно и перспективно при дальнейшем развитии систем передачи движения.

Заключение

1. Разработка и применение гуманоидных роботов оказывает решающее значение на эффективность развития промышленного и социального устройства человеческого общества.

2. Решение современной проблемы малой мощности и высоких габаритов применяемых гидравлических и сервоприводов возможно только при разработке гуманоидных роботов, в том числе переход на качественно новые, обеспечивающие коренное повышение работоспособности.

3. При создании принципиально новых механических и информационных способов разработки гуманоидных роботов решится проблема безопасного использования человеческого труда и необходимости выполнения работы, сопряженной с высоким риском.

Список литературы

1. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / Д.П. Крауиньш; Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.: ил.

2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько; под ред. С.А.Васина, А.Ю.Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с, ил.

3. Методологические особенности концептуального конструирования мехатронных систем в робототехнике / М.С. Кухта, П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, А.Д. Козлова // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04–07 декабря 2017 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники; под ред. С.С. Михалевиц [и др.]. – 2018. – Молодежь и современные информационные технологии. – С. 171–172. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46583>

САПР И КАК ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Казанцев В.А.¹, Казанцева О.А.², Сонвальд К.Я.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: vak29@tpu.ru,

²НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: oap10@tpu.ru,

³НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,

e-mail: kys15@tpu.ru

Целью данной статьи является краткий функциональный обзор систем автоматизированного проектирования (САПР), описание решаемых ими задач, способов оптимизации производственного процесса, а также выявление направления развития для производств, находящихся на разных этапах технологической эволюции.

В настоящее время использование САПР является неотъемлемым элементом для любого промышленного производства. При этом руководящий состав не всех компаний и предприятий понимает возможности САПР, целесообразность и методы их использования, а также направление развития компании в сфере автоматизации. В данной статье рассмотрены основные направления применения и возможности САПР.

Системы автоматизированного проектирования подразумевают под собой автоматизацию всех процессов и в полной мере на всех этапах жизненного цикла изделия, поэтому некорректно сравнивать их с Computer-aided design (CAD), Computer-aided manufacturing (CAM) или Computer-aided engineering (CAE) по отдельности, так как эти и другие системы входят в САПР.

Функционально САПР начинается с построения бизнес-процесса и жизненного цикла изделия. В этом предприятиям помогают системы WorkFlow, позволяющие оптимизировать определенные рабочие процессы, являющиеся по отдельности частями бизнес-процесса и Business Process Management System (BPMS), системы реализующие процессный подход к жизненному циклу изделия или продукта. Такие, более сложные системы подходят для средних и крупных предприятий.

САПР также продолжает существовать в рамках создания электронной структуры изделия при помощи систем Product Data Management (PDM), такие системы помогают создавать представление изделия в виде иерархии его составных частей, являются базой данных об изделии, позволяют осуществлять обмен и менеджмент файлов связанных с разработкой, производством, эксплуатацией и утилизацией изделия, или при помощи систем Product Lifecycle Management (PLM), которые позволяют управлять инженерными данными и всем жизненным циклом изделия, в том числе PLM системы затрагивают календарное планирование.

Полностью автоматизированных и отлаженных производств почти не бывает. Даже развитые компании в развитых странах имеют заметные минусы системы, вынуждающие пользователей подстраиваться под нее. Полностью автоматизировать на данный момент можно только что-то стандартное и серийное.

Самое распространенное направление автоматизации – CAD системы. Такие системы классифицируются по назначению – приборостроение, машиностроение, строительство и др., по сложности изделий, по комплексности решаемых задач, а также по другим признакам, как и САПР в целом. CAD системы предназначены для разработки конструкторской документации всех видов, начиная от модели и заканчивая ведомостями закупки. В машиностроении самыми распространенными CAD системами являются AutoCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, NX CAD, Creo Parametric и ПО российского разработчика – КОМПАС.

CAM системы используются для моделирования процессов обработки в станках с числовым программным управлением (ЧПУ), а также для создания программ по обработке заготовок. Распространенными зарубежными CAM системами являются: NX CAM, Mastercam, ESPRIT, SolidCAM, EdgeCAM, FeatureCAM и PowerMILL. Также существуют CAM системы отечественного производства, такие как СПРУТКАМ, ADEM CAM и др.

CAE – системы, которые используются для выполнения инженерных расчетов различных видов, например гидродинамические расчеты, прочностные, устойчивости, тепловые и многие другие, путем моделирования этих процессов. MSC Nastran, ABAQUS, NX Nastran, ANSYS, а также российские T-FLEX Анализ, APM FEM и другие.

Все вышеперечисленные определения имеют довольно размытый характер, и зачастую, продукты средств автоматизации, условно относящиеся к той или иной группе, являются их комбинацией. Так, существуют продукты, совмещающие в себе WorkFlow и BPMS; PDM и PLM; CAD и CAM; CAD и CAE; CAD, CAM и CAE и т. д.

Наиболее распространенными на современных производствах являются CAD и CAE продукты, таким образом с точки зрения оптимизации наибольший интерес представляют именно они.

CAD системы делятся в зависимости от назначения на системы с деревом построения такие как SolidWorks, Autodesk Inventor, NX CAD, КОМПАС, системы без дерева построения AutoCad, Rhinoceros 3D и системы объектного моделирования, направленные на решение отраслевых задач.

Один из важнейших инструментов автоматизации проектирования – параметризация. Это понятие, подразумевает введение определенных параметров, зависимостей, ограничений, функций, а также взаимосвязь между ними и возможность редактирования их на любом этапе. Данный функционал возможен только в программах с историей построения или с принципом объектного моделирования. При объектном моделировании программой заложено автоматическое создание взаимосвязей, но при этом ограничивается вариативность разрабатываемой модели. Поэтому в машиностроении чаще всего используют ПО с историей построения.

Одна из возможностей параметризации – изменение любых размеров любой детали сборки с автоматическим перестроением. Вместе с тем в CAD можно накладывать зависимости на размеры: например, значение одного размера выражается математической зависимостью от другого размера, выбирается из массива данных, или вычисляется при помощи логической функции И, ИЛИ, ЕСЛИ и др. Также при помощи параметризации можно редактировать свойства массивов деталей и снимать значения с графиков. Другими словами, любые аналитические расчеты можно описать параметрами в CAD и реализовать автоматически. Хорошим примером послужит трубопроводная арматура, которая при проектировании имеет большое количество параметров таких как диаметр, номинальное давление, расход и др. Эти параметры могут зависеть от отраслевых или иных требований. Полное проектирование такого изделия от модели до чертежей и спецификаций при должном подходе можно свести до заполнения опросного листа из нескольких десятков значений.

Второй значимый инструмент автоматизации проектирования – application programming interface (API) – набор инструментов, которые позволяют взаимодействовать программам и приложениям между собой. Интерфейс, взаимодействия одной программной среды с другой. В случае совместного использования с CAD функционал API раскрывается при создании функций, не предусмотренных разработчиком. Например, для создания отчетов, технологических файлов, а также для автоматизации регулярно-повторяющихся действий. Также, посредством API можно реализовать взаимосвязь с нейросетями или другими программами.

Немаловажным способом автоматизации процесса проектирования является топологическая оптимизация формы – определение наиболее оптимальной геометрии изделия в рамках заданных ограничений для сопротивления заданным внешним факторам. Чаще всего это перераспределение объема материала внутри заданного пространства детали, для снижения и

более эффективного использования массы. Главным минусом такого процесса является сравнительно невысокая технологичность, что влечет за собой ограничение возможностей применения до 3D-печати и сложной многокоординатной ЧПУ обработки. Такую возможность оптимизации предоставляют некоторые системы САЕ.

Следующий шаг к автоматизации по смыслу, но не во времени – внедрение PLM систем. Эти системы применяются для управления всеми данными, относящимися к жизненному циклу изделия, и выходят на первый план, когда предприятие начинает разрабатывать изделия с большим количеством деталей, имеет большую номенклатуру изделий и сотрудников или планирует осуществлять совместную работу в моделях. Минус таких систем – это необходимость в дополнительном обучении сотрудников, и более высокая точность к обработке данных на входе и выходе.

Исходя из всего вышесказанного можно сформулировать несколько векторов развития машиностроительных предприятий, в зависимости от их уровня развития. Для молодых компаний, с небольшим бюджетом и штатом целесообразно автоматизировать сферу САД систем, без применения интерфейсов API, ограничиваясь автоматизацией параметризации. Для средних компаний, имеющих средства для развития и желание масштабирования бизнеса, дополнительно стоит полностью отладить вопросы планирования, а также вводить применение PDM систем. Для крупных компаний, стремящихся поддерживать уровень развития, необходимо использовать все возможные инструменты автоматизации, и зачастую, самое «тяжелое» и функциональное программное обеспечение, или даже начать создавать свое.

Список литературы

1. ГОСТ 23501.108-85. Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 16 с.
2. Фомичев Н.И. Ф76 Автоматизированные системы научных исследований: учеб. пособие – Ярославль: Яросл. гос. ун-т., 2001. – 112 с.
3. **Ресурсы удаленного доступа**
4. Что такое BPMS // Хабр: сайт. – 2015. – URL: <https://habr.com/ru/companies/trinion/articles/273025/>.
5. Что такое бизнес-процесс и описание бизнес-процесса // Тринион: сайт. – 2023. – URL: <https://trinion.org/blog/chto-takoe-biznes-process-opisanie-biznes-processa>.
6. Краткое описание BPMN с примером // Тринион: сайт. – 2023. – URL: <https://trinion.org/blog/kratkoe-opisanie-bpmn-s-primerom>.
7. Каталог «Управления жизненным циклом изделия». Решения АСКОН // Аскон: сайт: – 2024. – URL: <https://ascon.ru/products/locman-plm/>.

ОДНОМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лаубган К.В.

Аспирант гр. А4-20, НИ ТПУ, ИШНПТ,
e-mail: kvl10@tpu.ru

Гаврилин А.Н., д.т.н., профессор ОМШ НИ ТПУ,
e-mail: gawral@tpu.ru

В инженерии понимание различных видов трения и фрикционных контактов критически важно для разработки эффективных механизмов. Для оценки их надежности необходимы практические испытания в условиях, близких к реальным. Особое внимание стоит уделить трению в роторных узлах машин, включая контактные взаимодействия в подшипниках качения и скольжения, а также в тормозных устройствах, таких как «вал-втулка», «вал-колодка» и «вал-колодки».

Целью данной работы является симуляция одномерной математической модели автоматизированного комплекса диагностики узлов трения технических систем (далее АКДУТТС) и проведения для моделирования работы роторных узлов трения в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации технических систем машин и механизмов. В рамках данной статьи предпринята попытка сформулировать концепт будущего АКДУТТС.

На основе разработанной принципиальной схемы, разработки оптимального варианта компоновки и кинематических расчетов была разработана одномерная математическая модель АКДУТТС. Одномерная математическая модель построена в инновационном программном обеспечении Siemens NX Amesim. Одномерная математическая модель автоматизированного комплекса диагностики узлов трения технических систем состоит из следующих модулей:

1. Модуль вращения контртела.
2. Блок нагружения контртела.
3. Камера трения.
4. Модуль подготовки смазочной среды.

Одномерная математическая модель АКДУТТС представлена на рис. 1.

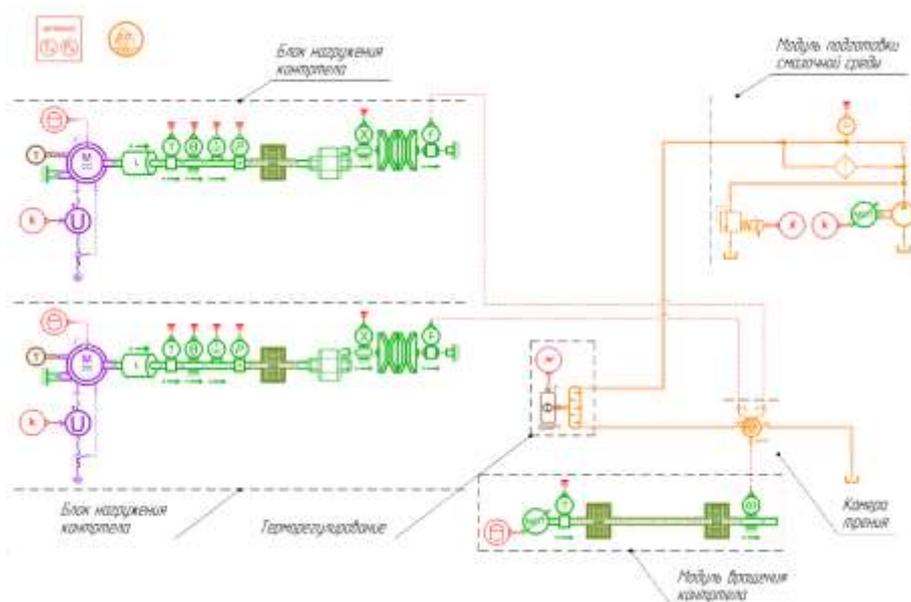
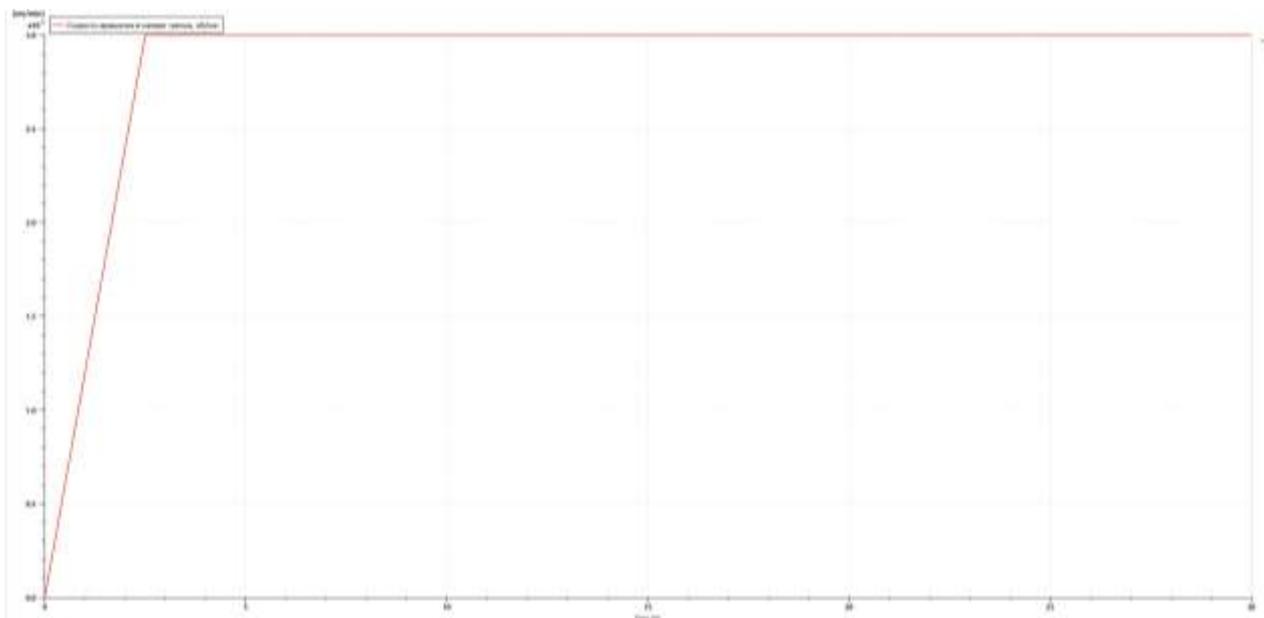


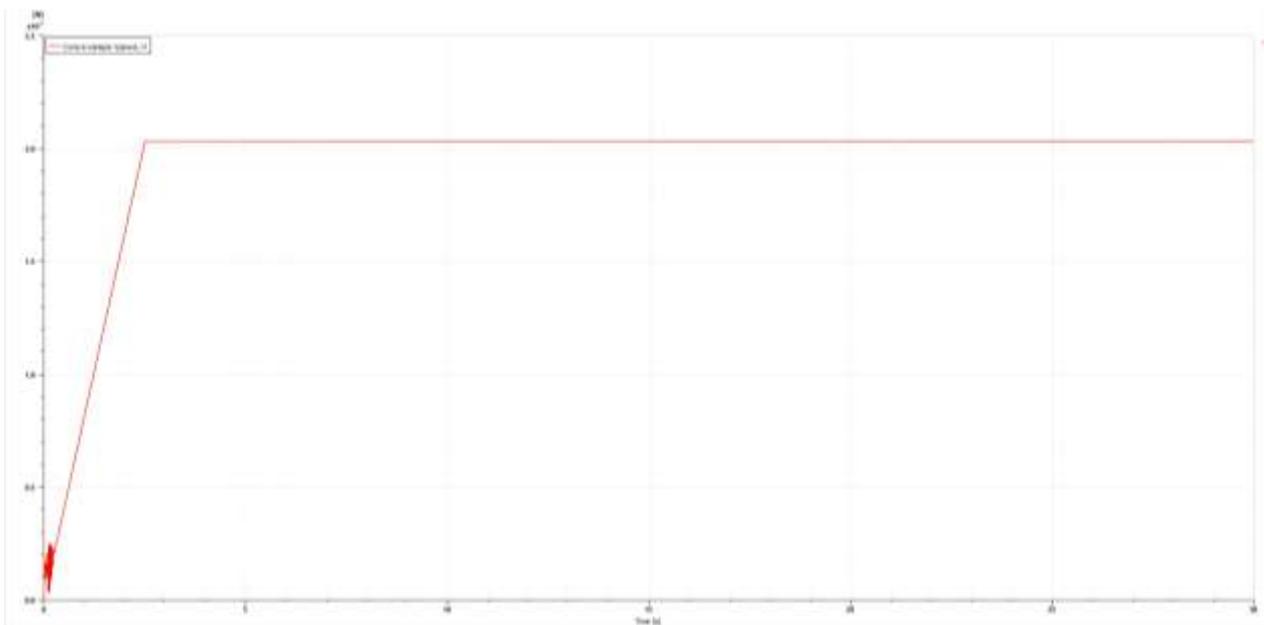
Рис. 1. Одномерная математическая модель АКДУТТС

Выполнено моделирование статического восходящего режима нагружения, целью которого было достижение максимальной необходимой нагрузки в минимально возможные сроки с полным соблюдением установленных норм. Задача заключалась в необходимости достижения скорости вращения модуля вращения контртела в камере трения на уровне 3000 об/мин, а также обеспечения силы нагружения в камере трения для двух блоков нагружения контртела на уровне 2000 Н.

Отклик АКДУТТС представлен на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Графики отклика АКДУТТС:

*а – скорость вращения модуля вращения контртела в камере трения;
б – сила нагружения блока нагружения в камере трения*

АКДУТТС продемонстрировала свою способность эффективно реализовать заданный закон нагружения в минимально возможное время, что подтверждает правильность выбора технической конфигурации. Минимальное время, необходимое для достижения максимальной скорости вращения модуля вращения контртела в камере трения, составило 2,3 секунды.

Минимальное время достижения силы нагружения, эквивалентной двум блокам нагружения контртела в камере трения, составило 2,5 секунды. Как видно по графику, в начале происходят резкие пики и падения, что говорит о стабилизации системы. Эти показатели являются значительными, в сравнении с аналогичными комплексами, разработанными в России. Более того, когда мы рассуждаем о зарубежных аналогах, можно с уверенностью заявить, что полученные результаты находятся на приемлемом уровне, что подтверждает высокую эффективность системы АКДУТТС и её конкурентоспособность как на внутреннем, так и на международном рынках.

Список литературы

1. Федоров В.В. Разработка алгоритмов реализации и исследование точности воспроизведения законов динамического нагружения узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия на автоматизированном триботехническом комплексе: магистерская диссертация.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ–ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОРОШКОВЫХ СУСПЕНЗИЙ

Леонтьев Н.А.¹, Букин А.А.¹, Гордеев Ю.И.²

*¹Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,*

E-mai: kol_leon@mail.ru

*²Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, доцент каф. КТОМСП*

Одной из ключевых задач при разработке композиционных спеченных порошковых материалов является достижение фазовой однородности смесей на этапе операций измельчения-смешивания. Анализ состояния проблемы в области порошковой металлургии показывает, что наиболее эффективным методом, с точки зрения соотношения производительности и качества, является подготовка смесей в высокоскоростных планетарных шаровых мельницах и атриторах лопастного типа в жидкой среде с последующей сушкой, пластифицированием и гранулированием перед формованием [1]. Однако эти устройства оказываются неэффективными при работе со смесями, содержащими наноразмерные порошки, которые подвержены агломерации в более крупные агрегаты при перемешивании в механических шаровых мельницах [2]. Это может быть неприемлемо для технологий производства различных видов композиционных материалов, поскольку вызывает снижение эффекта дисперсного упрочнения матричной фазы. В связи с этим для таких многокомпонентных порошковых смесей, особенно бимодальных, содержащих частицы, отличающиеся не только размерами и формой, но и значительными различиями в физико-механических и технологических свойствах, предпочтительными являются устройства, обеспечивающие одновременное механическое диспергирование и микроперемешивание порошков благодаря разрушительным эффектам гидродинамической кавитации.

Цель работы: обоснование конструктивного исполнения лопастного смесителя–диспергатора с повышенной интенсивностью измельчения и однородностью распределения частиц в суспензиях.

Одним из этапов исследования стало создание трехмерной модели лопасти винта (рис. 1, а). Конструкция рабочего органа и форма лопасти обоснованы расчетными данными и продемонстрировали свою эффективность на стадии предварительных исследований новых методов изготовления композиционных порошковых материалов на основе псевдосплавов, в том числе аддитивными технологиями 3D-печати. Увеличение эффективности процессов измельчения и смешивания бимодальных порошковых лигатурных смесей, содержащих наночастицы алюминия и меди, способствовало однородному распределению фазовых компонентов в суспензии, что обеспечило достижение необходимых характеристик конечного композиционного материала в процессе спекания, а также в ходе инфильтрации титанового «каркаса», полученного методом селективного лазерного плавления [3]. В работах [4, 5] было установлено, что для достижения высокого качества перемешивания порошковой суспензии и повышения производительности процесса оптимальными являются лопастные атриторы. При проектировании таких устройств особое внимание следует уделять соотношению размеров и формы лопастей, объему сосуда диспергатора и параметрам кавитационной обработки, таким как частота вращения, температурно-силовые характеристики и продолжительность обработки.

На основе результатов предварительных расчетных и экспериментальных исследований, а также с учетом данных, приведенных в работе [5], были определены необходимые размеры емкости диспергатора: диаметр рабочей камеры должен находиться в диапазоне от 100 до 200 мм при размере винта от 60 до 80 мм. Конструктивное исполнение устройства

иллюстрируется изображением на рис. 1, б и обосновано расчетами по основным техническим параметрам, которые могут варьироваться в зависимости от свойств суспензии. Габаритные размеры установки составляют 400×200×500 мм, мощность двигателя – 3,8 кВт, емкость сосуда – от 3 до 5 л, а число оборотов двигателя колеблется от 600 до 3000 об/мин, с расчетным временем смешивания от 3 до 15 минут.

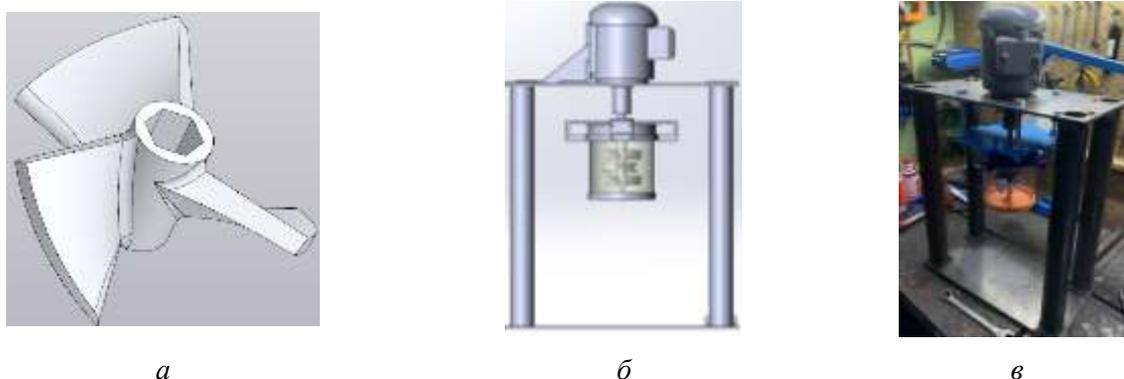


Рис. 3. Конструктивное исполнение кавитационного диспергатора:

а – 3-D модель трехлопастного винта; б – компоновка диспергатора; в – опытный образец в сборе

Для численного моделирования поведения суспензии в объеме сосуда был выбран программный пакет Ansys Discovery, который позволяет визуализировать направление потоков, застойные области в зоне диспергирования, зоны с повышенными и пониженными давлениями, а также области, где реализуются кавитационные эффекты. Моделью для расчетов послужила однородная суспензия с постоянной плотностью и вязкостью. При решении задачи смешивания необходимо корректно установить следующие параметры: область вращения (область, находящаяся в непосредственной близости к элементу вращения); дополнительная область вращения (область, зависящая от элемента вращения); а также задать условия поведения стенок сосуда (условие нулевого трения). Граничные условия для решения задачи формулировались на основе технических параметров конструкции диспергатора и представлены в виде схемы на рис. 2, а. На рис. 2, б показаны результаты моделирования, которые свидетельствуют о наличии застойных областей между винтами и вдоль стенок сосуда. Для уменьшения таких областей рекомендуется сократить расстояние между ступицами винтов, а также уменьшить свободный объем подвинтового пространства до дна сосуда. Для моделирования процесса смешивания в области активного винта использовался метод конечного объема, реализованный в программном пакете ANSYS CFX (рис. 2, в).

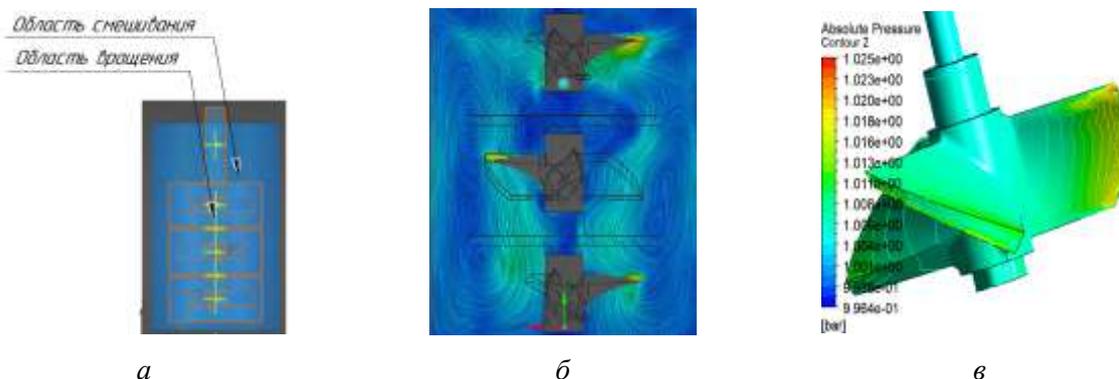
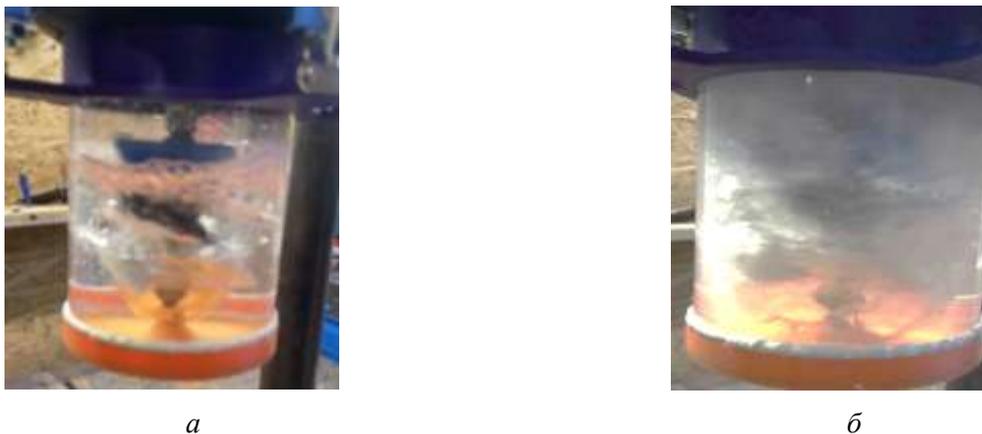


Рис. 2. а – граничные условия; б – направления движения потоков; в – поля давлений при 1000 об/мин

На данном этапе исследования произведен подбор оптимальных режимов измельчения-смешивания, а также конструктивных параметров конструкции и ее модернизация. Процесс смешивания при различных частотах иллюстрируется изображениями на рис. 3.



*Рис. 3. Отработка процессов смешивания
при частоте вращения вала: а – 600 об/мин; б – 1200 об/мин*

Рационализация процессов подготовки порошковых суспензий в кавитационных смесителях-диспергаторах потребовало комплексного подхода, включающего экспериментальные и теоретические исследования. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: учебник для вузов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Р.А. Андриевский. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 252 с.
3. Исследование свойств регулярных структур, полученных аддитивными технологиями в сочетании с методами порошковой металлургии / Гордеев Ю.И., Бинчуров А.С., Москвичев Е.В. и др. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 10(763) 2023. С. 28–43. Режим доступа: DOI: 10.18698/0536-1044-2023-10-28-43
4. Использование механизмов кавитационного воздействия в технологиях порошковой металлургии / Н.А. Леонтьев // Технологии и техника: пути инновационного развития, 2023. Режим доступа: URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54099223>.
5. Разработка смесителя для перемешивания жидких и гетерогенных сред: дис. к-дат техн. наук: С.О. Кожевников: 05.02.13. Иваново: ИГАСА, 2005. – 140 с.

НАИБОЛЕЕ ИЗНАШИВАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

*Пищальников Я.И.
студент группы 4АМ4К
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: yip5@tpu.ru*

Аннотация

Одними из основных требований к металлорежущим станкам являются надежность, долговечность и точность. Соответствие заявленным характеристикам технологической машины зависит от эксплуатируемых условий и нагрузок, происходящие во время обработки заготовки. Все это влияет на узлы, которые со временем изнашиваются, деформируются или выходят из строя.

Целью данной работы является анализ элементов станков токарной группы, подлежащие частой замене, вследствие большего износа, нежели остальные.

Ключевые слова:

Металлорежущий станок, токарная группа, узел, деталь

Среди металлорежущих станков группа токарных станков занимает особое место, порядка 40 % выпускаемых станков относятся к ней [1]. Поэтому чаще всего ремонтные работы проводятся для них. С точки зрения надежности, следует отметить, что все станки являются сложными техническими системами с жесткими обратными связями, и состоят из механической и электрической составляющей, для которых характерны ухудшение технических параметров в процессе эксплуатации.

Это, прежде всего, выражается в естественном изменении геометрии, как таковой, т. е. детали токарного станка, подвергаясь механическим и эрозионным воздействиям, за определённый промежуток времени меняются в размерах. В результате чего их взаиморасположение в пространстве не соответствует проектной документации, а параллельности в конструкции нарушаются, что, безусловно, сказывается на жесткости станка в целом, его отдельных элементов и приводит к поломкам [2]. В первую очередь изнашиваются те детали, которые совершают какие-либо перемещения, к ним относятся шестерни, зубчатые колеса, подшипники, при активной эксплуатации износу могут подвергнуться дистанционные кольца [3]. Однако, помимо деталей кинематических пар, частому выходу из строя подвержены элементы приводов, электрика и гидравлика, износ одного из элементов привода может привести к поломке всей системы, не подлежащей восстановлению.

Масло и СОЖ обязательные компоненты для эксплуатации станка. Заливаемое масло может не соответствовать заявленным характеристикам или иметь истекший срок годности, в результате чего оно может быть более вязким, что не позволит обеспечить смазку на нужном уровне, как результат происходит перегрев, истирание и износ кинематических пар за более короткий срок. Когда заходит речь о СОЖ, то необходимо рассмотреть гидравлическую систему целиком. Причиной выхода из строя гидравлической системы может стать следующее: износ уплотнителей, прокладок, сальников, в результате чего происходят утечки рабочей жидкости, потери жидкости сказываются на работе гидропривода, КПД падает. Сокращение поступления в зону резанья охлаждающей жидкости приводит к перегреву системы, что приводит к росту нагрузки на СПИД; электропривод, шпиндельный узел, двигатель, приводящий его в движение, при возрастании нагрузок и перегреве подвержены большему риску раннего выхода из строя, к тому же неполадки, связанные с электрикой, приводят к поломкам в электрощитах [3].

Таким образом, часто выходящими из строя, являются элементы гидро-, электропривода, а также кинематические пары шпиндельного узла и резцедержки, на которые приходится большие нагрузки.

Для сокращения числа поломок и часов восстановительных работ, а с ними и затрат необходимо принять ряд мер.

Поддержание порядка на рабочем месте, проведение уборки в конце рабочей смены, обдувание и промывка рабочего пространства станка, для удаления стружки и прочих остатков от процессов резанья, которые могут попасть на ходовые части.

Соответствующая наладка, с учетом возможностей и особенностей оборудования и применяемого инструмента. В случае ввода повышенных составляющих режимов резанья (глубина, подача, скорость) возрастает нагрузка и температурный режим, что так уже было сказано, отражается на электроприводе и кинематических элементах.

Проведение плановых ремонтных работ, при которых проводится полный анализ системы. Заранее выявленные дефекты позволяют предотвратить выхода из строя всей системы и обойтись лишь заменой малого количества деталей. При этом необходимо учитывать, чтобы новые детали имели соответствующие механические характеристики, не ниже чем у заменяемых деталей [4].

Подводя итог, все элементы металлорежущих станков подвержены нагрузкам, имея разный запас прочности, необходимо уделять должное внимание при его наладке и работе, дабы система не находилась в критическом состоянии в процессе лезвийной обработки. В противном же случае повышается риск преждевременного необратимого выхода, технологической машины, из строя, для чего и необходимо соблюдать перечень требований по уходу за станком и проведению профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Верина Л.И. Технология токарной обработки.
2. «Слабые места» отечественных токарных станков. – URL: https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_411.html (дата обращения 14.11.2024).
3. Какие системы токарных станков наиболее уязвимы? – URL: <https://dzen.ru/a/X6j4QRrWJDJsWZjW> (дата обращения 16.11.2024).
4. Анализ причин аварий и поломок металлорежущих станков – важный фактор повышения их надежности и долговечности: Руководящие материалы / Гос. ком. по машиностроению при Госплане СССР. Эксперим. науч.-исслед. ин-т металлорежущих станков. ЭНИМС.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

Сидоренко А.А.¹, Пустовых И.В.², Семенов Г.В.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ зр. 4НМ31,

²ООО НПК «ТЭТА»

e-mail: aas292@tpu.ru

Электронно-лучевая сварка является перспективным способом соединения металлоконструкций в авиационной и космической промышленности, ракетостроении, ядерной энергетике, радиоэлектронике, точном машиностроении и приборостроении. Данная технология позволяет получить высокое качество сварного шва без понижения физических свойств, создавая сложные узлы, детали и конструкции. [1]

Одним из перспективных направлений в области автоматизации ЭЛС является изучение возможности наблюдения и управления ЭЛС на основе видеоданных.

Актуальность данного способа наблюдения и управления обусловлена необходимостью максимальной автоматизации труда оператора, управляющего процессом ЭЛС. Реализовано это с целью повышения производительности процесса производства, минимизации возможных ошибок, исключения человеческого фактора и повышение общего качества конечного изделия [2].

Необходимость в использовании видеонаблюдения обусловлена отсутствием возможности вмешательства в процессе сварки и полноценного наблюдения за процессом.

В процессе сварки нам необходимо наблюдать сварочную ванну, исходя из этого, оператор может определить провар двух материалов и дать оценку качеству сварного шва. При необходимости есть возможность подкорректировать настройки управляющей программы для обеспечения требуемого качества сварного шва.

Причиной отсутствия прямого наблюдения за сварочным процессом являются работающие (движущиеся) механизмы (манипуляторы, вращатели), используемые в процессе сварки для задания необходимой траектории сварного шва.

Сам процесс управления ЭЛС на основе видеоданных осложнен сильным излучением разного рода в месте сварки, в том числе световым. Источником повышенной опасности для персонала является рентгеновское излучение из зоны воздействия электронного пучка на материал.

При разработке системы видеонаблюдения необходимо учесть факторы, влияющие на качество видеонаблюдения. Так как промышленные цифровые камеры имеют ограничения по чувствительности к излучениям происходит засветка места сварки.

Видеонаблюдение за процессом сварки осложняет сильный контраст изображения между яркой дугой и темным изделием. Наблюдение, в таком случае, становится невозможным.

Устранить свечение полностью невозможно, но можно убрать негативное воздействие с помощью различного рода светофильтров. Для наблюдения за зоной сварки можно использовать интерференционные светофильтры, выделяющие области спектра с наименьшим контрастом изображения. Использование дополнительной подсветки на длине волны пропускания светофильтров и узкополосных светофильтров позволяет почти полностью исключить излучение и обеспечить комфортное наблюдение за процессом.

Список литературы

1. Иванов В.В., Наумов И.А., Щербина О.В., Богданов В.В. Технологические особенности электронно-лучевой сварки // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-osobennosti-elektronno-luchevoy-svarki>.

2. Наказненко П.А., Серегин Ю.Н. Способы управления электронно-лучевой сваркой с помощью видеонаблюдения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-upravleniya-elektronno-luchevoy-svarkoy-s-pomoschyu-videonablyudeniya>.

МАГНИТНЫЕ ОПОРЫ

*Комлягин К.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А31
e-mail: kdk15@tpu.ru*

Магнитные опоры – это устройства, которые используют магнитную силу для подвешивания ферромагнитного тела в пространстве.

Они предназначены для разгрузки фиксирующих подшипников при подвешивании тяжёлых, быстровращающихся деталей – валов, роторов, турбин и т. д.

В 30-х годах прошлого века начались исследования и практическое применение активных электромагнитных подвесов.

Первый радиальный активный магнитный подшипник (АМП) был предложен и испытан Р. Сиксмитом. Но, для обеспечения необходимых характеристик магнитных опор требовались сложные контроллеры и алгоритмы. Поэтому АМП не стали практической альтернативой подшипникам качения.

Работа АМП основана на известном принципе активного магнитного подвеса ферромагнитного тела, рис. 1.

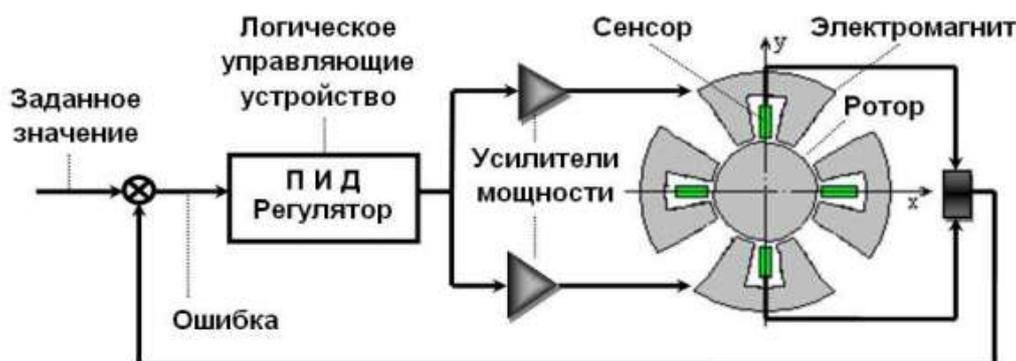


Рис. 1. Схема работы АМП

Стабилизация тела в заданном положении осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на тело со стороны управляемых электромагнитов. Токи подаются в обмотки электромагнитов по средствам системы автоматического управления, состоящей из датчиков перемещения (сенсоров), электронного регулятора и усилителей мощности. При смещении ротора из заданного положения сигнал с датчиков обрабатывается регулятором и подается через усилители мощности на электромагниты. Таким образом, ротор позиционируется в заданной точке. При отключенных АМП ротор покоится на вспомогательных (страховочных) подшипниках. Конструктивно АМП состоит из трех основных частей: электромеханической части, или собственно АМП; электронной системы управления; вспомогательных (страховочных) подшипников.

Что касается преимуществ:

- отсутствие механического износа и взаимодействия, что повышает ресурс устройства и позволяет применять его в точных измерительных приборах;
- возможность работы в широком диапазоне частот вращения валов;
- возможность работы в экстремальных условиях и средах;
- нет необходимости использовать смазывающие вещества, что исключает загрязнение перекачиваемого продукта;
- возможность создать герметичную машину;
- высокая энергоэффективность, грузоподъемность и экологичность;

- возможность демпфировать колебания резонансных частот, возникающие в турбоагрегатах в переходных режимах.

Но также присутствуют и недостатки:

- сложность управления магнитным подвесом и возможная неустойчивость работы системы автоматического управления;
- необходимость в страховочных подшипниках;
- необходимость внешнего источника электроэнергии;
- дороговизна в производстве и ремонте;
- нагрев обмоток статора, что увеличивает потери и может требовать систему охлаждения.

Магнитные подшипники

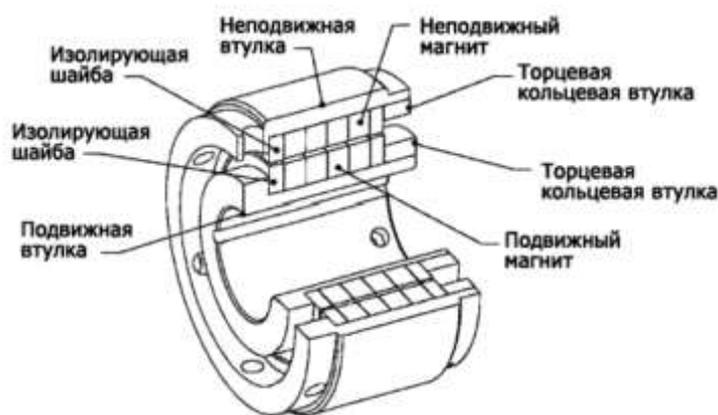


Рис. 2. Конструкция магнитного подшипника

Чаще всего магнитные опоры используются в магнитных подшипниках, которые в свою очередь используются уже в электрических генераторах, в переработке нефти, в работе станков и при передаче природного газа. Также они используются в газовых центрифугах для обогащения урана и в турбомолекулярных насосах. Но не стоит забывать про поезд на магнитной подушке.

В заключение, магнитные опоры – это инновационное технологическое решение, которое нашло широкое применение в различных отраслях промышленности и строительства. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами крепления и могут значительно упростить выполнение различных задач, требующих фиксации металлических деталей.

Список литературы

1. URL: <https://rotordynamics.ru/wp-content/uploads/2022/04/2013-rotornye-sistemy-s-magnitnymi-oporami-i-ih-dinamika.pdf>
2. URL: <https://yandex.ru/search/?text=ферромагнитного+тела&clid=2270457&banerid=6301000000%3A63fa2788da23610ff838f331&win=582&lr=165860>
3. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=поезд%20на%20магнитных%20опорах>
4. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=магнитные%20опоры%20 применение>
5. URL: <https://yandex.ru/search?text=магнитные+опоры+схемы&source=tabbar&lr=65>
6. URL: <https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=магнитные%20опоры%20схемы>
7. URL: <https://yandex.ru/search/?text=магнитные+опоры+схемы+рисунки&lr=67&clid=2270455&win=582>

ПОДБОРЩИК ПРОСЫПИ: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Кривошеев Д.Ю., студент гр. 4НМ31
НИ ТПУ, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: dyk17@tpu.ru*

Подборщик просыпи – это конвейер-транспортёр, который используется на ленточных конвейерах для сбора и удаления просыпей (материала, который просыпался с конвейера). Основан на принципе работы скребковых, ковшовых, скребково-ковшовых и др. конвейеров.

Большая часть просыпаний происходит во время работы ленточных конвейеров на их разгрузочных и натяжных станциях, а также по всей длине из-за недостаточной эффективности работ по очистке ленты.

Просыпь может возникать из разных источников. Основной причиной является износ ленты конвейера, когда материал начинает просыпаться между лентой и барабаном. Также просыпь может образовываться из-за некачественного материала, который имеет слишком крупные частицы или содержит много пыли. Кроме того, просыпь может появляться из-за неправильной настройки конвейера или его неисправности.

Конвейерный транспорт существует уже более 100 лет, но подход к проектированию очистительных систем почти не изменился. Применение специализированных очистителей лент или других действенных методов, например, обработка ленты защитными средствами или установка устройства для сбора просыпей под конвейером (подборщик просыпи), может способствовать увеличению срока службы конвейерных лент (стоимость которых составляет более половины от общей цены конвейера), повышению надёжности роликкоопор, сокращению времени простоя, снижению энергопотребления и трудозатрат.

По виду тягового элемента, подборщик просыпи чаще всего является цепным конвейером. Цепной конвейер перемещает грузы с помощью замкнутой цепи. По сравнению с ленточными транспортёрами, он обладает большей прочностью, долговечностью и эффективностью.

Применение цепей в производстве конвейерного оборудования повышает надёжность и грузоподъёмность транспортировочной системы, что позволяет создать износостойкие конвейеры, способные работать в экстремальных условиях. Цепные конвейеры успешно выдерживают большие нагрузки и эффективно функционируют при значительных перепадах температуры.

Включение цепей в конструкцию конвейера при его разработке повышает стоимость производства, но значительно улучшает надёжность приводного механизма и сокращает затраты на обслуживание и ремонт во время использования. Обычно к таким конвейерам можно отнести Z-образные, L-образные и С-образные транспортёры.

Цепные конвейеры включают скребковые, пластинчатые, ковшовые и др. типы. Ленточно-цепной конвейер также относится к этой категории, где лента жёстко соединена с цепями и служит грузонесущим элементом, а тяговое усилие обеспечивается цепями.

Скребково-ковшовые конвейеры сочетают преимущества скребковых и ковшовых конвейеров и используются для перемещения малоабразивных сыпучих материалов с помощью жёстко закреплённых ковшей (в ковшовых конвейерах ковши имеют шарнирное крепление). Они предназначены для транспортировки грузов по сложным маршрутам с вертикальными и горизонтальными участками. Преимущества скребково-ковшовых конвейеров включают возможность бесперегрузочной транспортировки по сложным траекториям и удобство промежуточной разгрузки на горизонтальных и вертикальных участках.

Скребково-ковшовый конвейер обладает следующими недостатками: сложная конструкция и износ трущихся частей (желобов и ковшей).

Скребково-ковшовый конвейер (рис. 1) состоит из двух бесконечных замкнутых тяговых цепей 4 с жёстко закреплёнными призматическими ковшами 5. На горизонтальных участках ковши движутся внутри открытого или закрытого желоба 1, а на вертикальных участках – внутри закрытого направляющего кожуха 7. Цепи проходят через поворотные звёздочки 3, 2, 6. Верхняя приводная звёздочка 3 расположена в конце рабочей ветви, а нижняя натяжная звёздочка 2 – в начале. Жёлоб и кожух поддерживаются опорными металлоконструкциями 8, к которым крепятся направляющие пути 9.

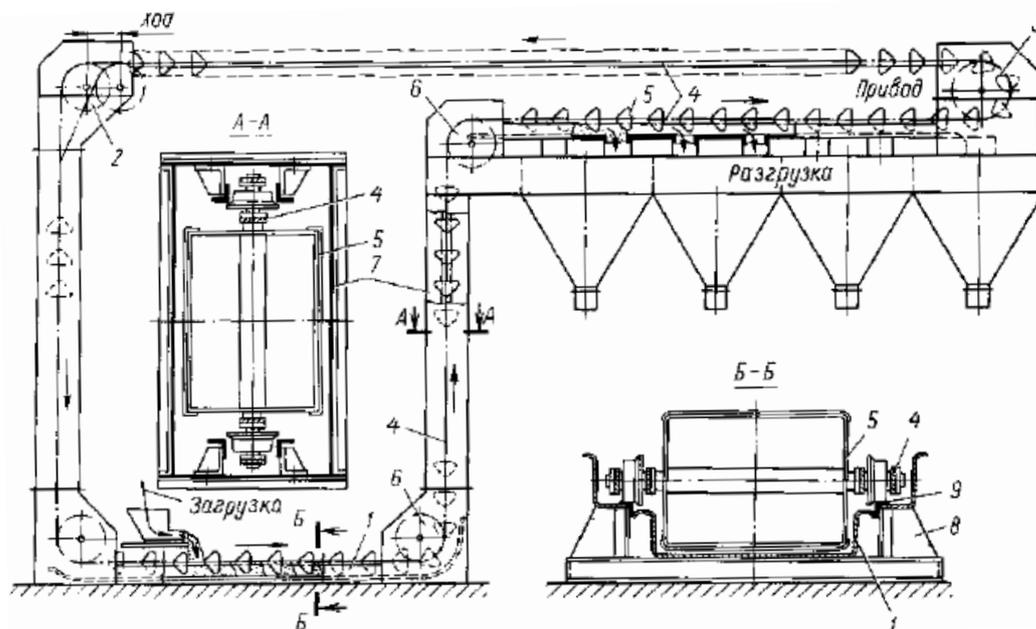


Рис. 1. Схема работы скребково-ковшового конвейера

Насыпной груз, подлежащий транспортировке, загружается в желоб на нижнем горизонтальном участке конвейера. Ковши, двигаясь подобно скребкам, захватывают груз и перемещают его по желобу, как в скребковом конвейере.

В конце нижнего горизонтального участка, когда ковши поворачивают на звёздочках, они автоматически забирают перемещаемый груз и поднимают его вертикально. Затем, при переходе на верхний горизонтальный участок, ковши пересыпают груз обратно в желоб и снова перемещают его, как скребки. Возможен вариант, когда ковши продолжают нести груз на верхнем горизонтальном участке, что обеспечивается их креплением под углом относительно тяговых цепей. Груз может быть выгружен в любой точке верхнего горизонтального участка через отверстия в дне желоба.

К основным элементам подборщика просыпи можно отнести:

- Тяговый элемент: две пластинчатые цепи по ГОСТ 588-81 (чаще используют типа 1 и типа 4).
- Ковши: призматической формы, сварные из листовой стали толщиной 3–6 мм, с углом наклона не менее 45 градусов для свободной разгрузки боковых стенок.

Можно заключить, что для подборщика просыпи наиболее подходит конструкция на основе цепного конвейера за счёт большей прочности, надёжности и долговечности цепей, а также их большей устойчивости в тяжёлых условиях работы – перегрузках, заклиниваниях, резких температурных перепадах и др. В качестве компоновки наиболее удовлетворяет цепной конвейер скребково-ковшового типа, сочетающий в себе особенность работы погружных скребков и ковшей, применяемых на элеваторах. Наибольшие просыпи ленточного конвейера возникают обычно в местах перехода/перегиба станций, поэтому форма подборщика должна соответствовать траектории, по которой материал будет возвращаться обратно на ленту.

Данному условию наиболее соответствует конфигурация С-образного конвейера. Пример компоновки ленточного конвейера с подборщиком просыпи показан на рис. 2.



Рис. 2. Пример компоновки крутонаклонного ленточного конвейера с подборщиком просыпи (DURMEIER)

Согласно аналитическому отчёту «Рынок элеваторов и конвейеров в России 2015–2021», с 2018 года сегмент конвейерного производства стабильно увеличивал объёмы. В 2021 году российские производители выпустили на 62 % больше оборудования, чем в 2020 году. Однако на долю отечественного импорта по-прежнему приходится почти 50 %, включая машины и оборудование, комплектующие и силовые узлы, ленточно-канатные конвейеры, магистральные и стационарные транспортёры большой протяжённости.

В 2023 году российские предприятия произвели 9753 конвейера, что на 29,3 % больше по сравнению с результатами 2022 года. Производство конвейеров в январе 2024 года увеличилось на 43,7 % по сравнению с январём предыдущего года и составило 589,3 единицы.

Таким образом, подборщик просыпи является перспективной разработкой в области конвейерного оборудования, нацеленной на импортозамещение, и содержащей в себе достоинства цепных, скребковых и ковшовых конвейеров.

Список литературы

1. Бибиков П.Я. Очистка конвейерной ленты, взгляд на проблему // ГИАБ. – 2004. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-konveyernoj-lentyvzglyad-na-problemu>.
2. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемнотранспортных машин. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Выш. шк., 1983. – 350 с.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
4. Пертен Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2005. № 1 (1). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konveyernyy-transport-xxi-veka>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ УКЛАДКИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ

Рожков П.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А12,
e-mail: pdr1@tpu.ru

Установка предназначена для укладки арматурной проволоки на конвейер. Основным механизмом установки является четырехзвенный рычажный механизм (рис. 1, а), состоящий из кривошипа 1, коромысла 3, шатуна 2 и стойки 4. Сила F сопротивления при укладке приложена к точке E касательной к траектории этой точки. В крайних положениях DE' и DE'' коромысла 3 сила F меняет свое направление. Проволока 5 укладывается между штырьками 6 конвейера (рис. 4, в), который движется перпендикулярно плоскости рычажного механизма.

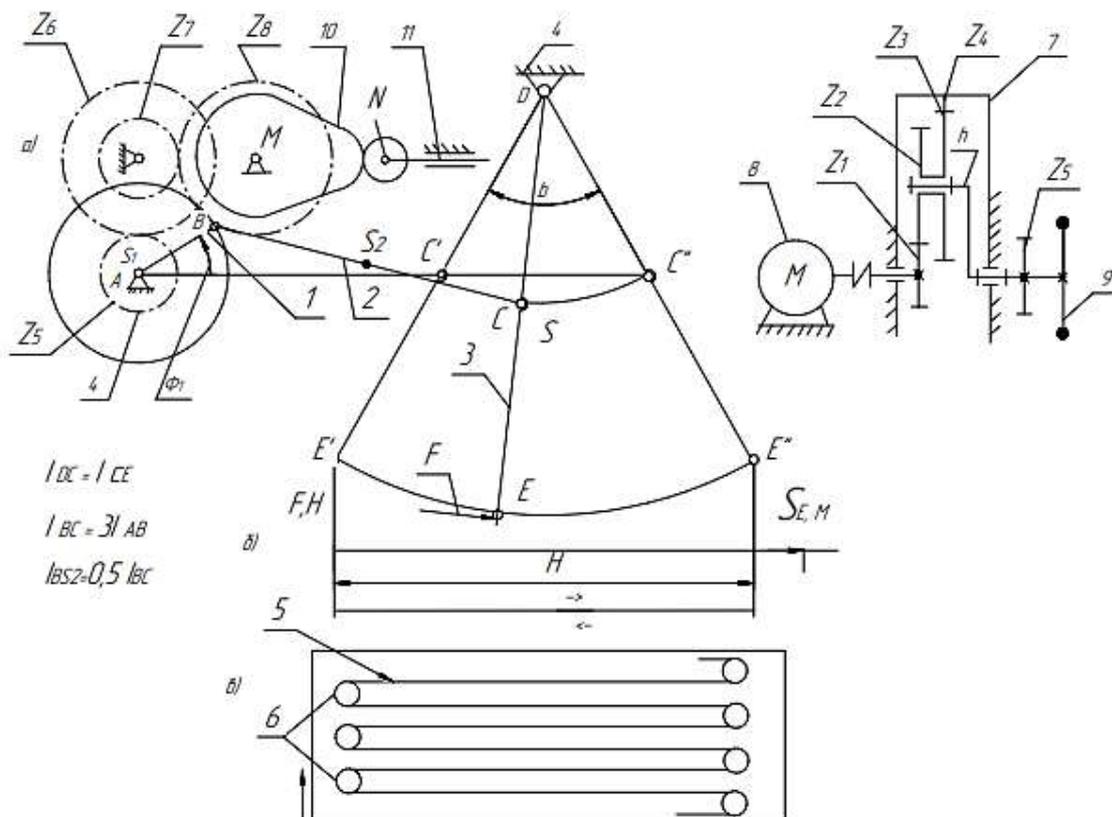


Рис. 1. Механизмы установки для укладки арматурной проволоки

Привод установки состоит из двухрядного планетарного редуктора 7 (число блоков сателлитов $K = 3$, модуль зубчатых колес $m_1 = 2$ мм) и электродвигателя 8 (рис. 1, з). На выходном валу редуктора установлен маховик 9, обеспечивающий требуемый коэффициент неравномерности вращения кривошипа $\sigma = 1/20$.

Кулачковый механизм предназначен для отрезки секции уложенной проволоки. Кулачок 10 жестко связан с зубчатым колесом 7 и получает вращение от кривошипа 1 через зубчатую передачу, состоящую из колес Z_5 , Z_6 , Z_7 и Z_8 (модуль колес $m = 5$ мм). Закон движения толкателя 11 кулачкового механизма дан на рис. 1, д. Допустимый угол давления в кулачковом механизме $[\theta] = 25^\circ$.

Механизмы установки для укладки арматурной проволоки (например, в строительстве железобетонных конструкций) могут существенно повысить эффективность работы. Рассмотрим основные плюсы и минусы таких механизмов:

Плюсы:

1. Повышение производительности.
2. Точность укладки.
3. Снижение трудозатрат.
4. Уменьшение ошибок.
5. Универсальность.

Минусы:

1. Высокая стоимость.
2. Необходимость в обучении.
3. Сложности в обслуживании.
4. Ограниченная гибкость.
5. Зависимость от электроэнергии или топлива.

В целом, выбор в пользу механизированных установок зависит от масштабов проекта, финансовых возможностей и специфики работы.

Механизмы установки для укладки арматурной проволоки применяются в различных областях строительства, где требуется армирование бетона для обеспечения прочности и долговечности конструкций. Вот несколько основных мест применения:

1. Строительство железобетонных конструкций. Заводы по производству железобетонных изделий (ЖБИ): Для производства предварительно напряжённых и сборных железобетонных элементов, таких как плиты, балки, колонны и панели. Монолитное строительство: При армировании монолитных железобетонных конструкций (например, фундаменты, стены, перекрытия) на строительных объектах.

2. Дорожное и мостовое строительство. Мосты и развязки: Укладка арматурной проволоки используется при армировании бетона для мостовых плит, опор, пролётов и других конструктивных элементов мостов. Автомобильные и железнодорожные пути: Армирование бетонных плит для путей, оснований для автомобильных дорог и других дорожных сооружений.

3. Строительство тоннелей. В тоннелестроении используется армированная бетонная обшивка для обеспечения устойчивости и безопасности конструкций. Механизмы помогают укладывать арматуру в ограниченных пространствах с высокой скоростью.

4. Гидротехнические сооружения. При строительстве плотин, каналов, шлюзов и других объектов водохозяйственного строительства, где требуется армирование бетонных конструкций для повышения их прочности и долговечности.

5. Энергетическое строительство. Армирование бетонных конструкций, таких как фундаменты для тепловых и атомных электростанций, стеновые и перекрывающие элементы для реакторных отсеков.

6. Жилищное и коммерческое строительство. Применение в многоэтажных жилых домах, коммерческих зданиях, торговых центрах и офисных комплексах, где требуется армирование для фундамента, стен, колонн и перекрытий.

7. Складские и промышленные объекты. В производственных и складских помещениях, где необходимо усилить бетонные конструкции для обеспечения высокой грузоподъёмности и устойчивости.

8. Реконструкция и капремонт зданий. В случаях, когда требуется армирование для ремонта или усиления существующих бетонных конструкций, например, укрепление бетонных плит, колонн или стен.

9. Бетонные трубы и кольца. Механизмы могут использоваться для армирования бетонных труб, колодцев и кольцевых конструкций, которые применяются в водоснабжении, канализации и других системах. Механизмы установки арматурной проволоки помогают ускорить процесс, повысить точность и улучшить качество армирования, что особенно важно при выполнении крупномасштабных и сложных строительных проектов.

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ

*Огороков Е.А., гр. 4А21
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: eao11@tpu.ru*

Червячные редуктора являются неотъемлемой частью многих механических систем благодаря своей способности эффективно преобразовывать и передавать вращательные моменты. Они находят широкое применение в машиностроении, автоматизации, подъемных механизмах и других областях, где необходима передача больших нагрузок с низкой скоростью. Тем не менее, червячные редуктора подвержены ряду проблем, одной из которых является вибрация. Вибрация не только ухудшает производительность редуктора, но и приводит к его преждевременному износу, что негативно сказывается на общей надежности системы.

Вибрация в червячных редукторах может быть вызвана множеством факторов, каждый из которых может оказывать значительное влияние на эксплуатационные характеристики:

1. **Неправильное соосное расположение.** Отсутствие точного выравнивания валов приводит к дополнительным динамическим нагрузкам и, как следствие, к вибрации. Даже малейшие дисбалансы могут вызвать резонансные явления, что может привести к повреждению компонентов. Поэтому особое внимание следует уделять правильной установке редуктора.

2. **Износ компонентов.** Износ рабочих поверхностей, таких как червяки и колеса, изменяет геометрию зацепления, что может вызвать пульсации в передаче момента и дополнительные вибрации. Со временем это приводит к неравномерному распределению нагрузки и увеличивает риск поломок.

3. **Неравномерность материалов.** Дефекты в материалах, используемых для производства червяков и шестерен, также могут стать причиной возникновения вибрации. Наличие микротрещин, пор или других дефектов может вызывать локальные изменения механических свойств, что вредит стабильности работы редуктора.

4. **Несбалансированные нагрузки.** В случае, если нагрузка распределена неравномерно, это может привести к вибрации, негативно влияющей на надежность системы. К примеру, неравномерное распределение нагрузки по осям шестерен может вызвать колебания и резкие изменения в работе редуктора.

5. **Внешние факторы.** Внешние силы, такие как удары, колебания от соседних машин и воздействие других механических систем, также могут способствовать возникновению вибраций в червячных редукторах. Методы снижения вибрации

Снижение вибрации в червячных редукторах требует комплексного подхода, включающего как проектные решения, так и методы эксплуатации. К общим методам снижения вибрации можно отнести:

1. **Качественное проектирование** – на этапе проектирования важно учитывать параметры, способствующие минимизации вибраций. Это включает в себя правильный выбор угла зуба червяка и шестерни, а также расчет геометрии зацепления.

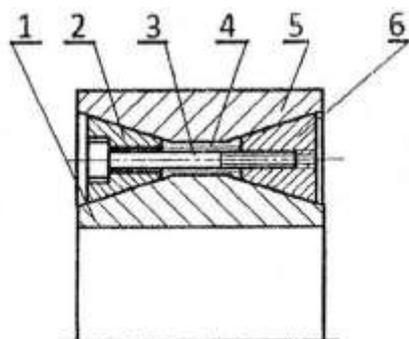
2. **Подбор материалов** – использование высококачественных материалов с лучшими механическими свойствами снижает вероятность возникновения вибрации. Эти материалы также могут быть подвержены специальной обработке для повышения прочности и износостойкости.

3. **Системы балансировки** – установка балансировочных механизмов помогает уменьшить динамические нагрузки и вибрации, обеспечивая более стабильную работу редуктора.

4. **Смазка** – правильный выбор смазки и ее регулярная замена способны снижать трение между компонентами редуктора, что, в свою очередь, помогает уменьшить вибрацию.

5. **Мониторинг состояния** – использование систем вибрационного мониторинга позволяет в реальном времени отслеживать изменения в вибрации и оперативно реагировать на потенциальные проблемы.

6. **Совершенствование подшипниковых узлов.** Например, применение блочно-модульного подшипникового узла скольжения валов редуктора с повышенными виброизолирующими свойствами, обладающего высокой износостойкостью и долговечностью.



*Рис. 1. Радиально-упорный модульно-блочный подшипник скольжения для реверсивного движения:
1 и 5 – внутреннее и наружное кольца; 2 и 6 – части плавающего вкладыша;
3 – регулировочный винт; 4 – дистанционная втулка*

Увеличение надежности червячного редуктора возможно благодаря снижению вибрации, что достигается путем применения современных методов проектирования, правильного подбора материалов, эффективного мониторинга состояния и других технологий. Понимание причин возникновения вибрации и методов их устранения – ключевые аспекты для достижения высокой надежности и долговечности червячных редукторов в различных отраслях. В дальнейшем важно продолжать исследования в этой области для разработки инновационных решений, которые смогут повысить эффективность и эксплуатационные характеристики редукторов.

Список литературы

1. Миндрин В.И., Лачурин Г.В. Виды и причины вибрации энергетических машин [текст] / В.И. Миндрин, Г.В. Пачурин // современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 32–36.
2. Бондаренко В.А., Чукарин А.Н. снижение шума и вибраций редукторов мостовых кранов повышенной грузоподъемности [текст] / В.А. Бондаренко, А.Н. Чукарин // вестник ргата имени П.А. Соловьева. – 2017. – № 2. – С. 308–314.
3. Бондаренко В.А. Снижение шума и вибрации редукторов: специальность 05.26.01 «Охрана труда (в машиностроении)»: Автореферат на соискание кандидата технических наук / Бондаренко, В.А.; «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО РГУПС). – Ростов, 2014. – 151 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Стариков А.И.¹, Сызранцев В.Н.²

*¹Тюменский индустриальный университет, аспирант, ТМАШа-21-1,
e-mail: starikovai@tyuiu.ru*

*²Тюменский индустриальный университет, профессор кафедры машин и оборудования
нефтяной и газовой промышленности, доктор техн. наук,
e-mail: syzrantsevvn@tyuiu.ru*

Исследуется цилиндрическая передача с арочными зубьями. Арочные зубья нарезаются круговыми резцовыми головками методом обката с периодическим делением.

Прямые, косые и шевронные зубья цилиндрических эвольвентных зубчатых передач имеют линейный характер касания, вследствие чего крайне чувствительны к углу перекося осей вращения шестерни и колеса [1, 2, 3, 4]. При наличии которого, функция положения в передаче приобретает пилообразную форму [1, 3, 5]. Это приводит к появлению удара при входе зубьев в зацепление, вибрациям и шуму передачи. Площадки контакта выходят на край зуба, возникают концентрации контактных напряжений [1, 2, 4]. Передачи с арочной (криволинейной, круговой) формой зубьев (рис. 1) позволяют обеспечить работоспособность. Исследования данного типа передач продолжаются в настоящее время как в России [2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12], так и за рубежом [1, 6, 13].



Рис. 1. Цилиндрические передачи с арочными зубьями

Основными преимуществами колес с арочными зубьями являются: локализация контакта зацепления их активных поверхностей в продольном и профильном направлениях достигается в процессе изготовления одного из колес; повышенная изгибная прочность арочных зубьев; отсутствие осевых сил в передаче; улучшенные условия смазки; способность к самоустановке колес. Арочные зубья, также как и шевронные позволяют компенсировать угол перекося путем осевого перемещения (самоустановки) одного из колес. Однако из-за смещения рабочей линии по поверхности арочного зуба в зону с малым углом его наклона, самоустановка колеса существенно ограничена [2, 4]. В качестве решения данной проблемы предложена адаптивная передача [9] с арочными зубьями. Следуя способу [9, 12] образования в зацеплении арочных зубьев двух, разнесенных по их длине, зон контакта, колесо передачи выполняется сборным, состоя-

щим из двух полуколес. Нарезание арочных зубьев выполняется при жестком закреплении полуколес друг относительно друга (рис. 2, а), а при установке полуколес на валу между ними устанавливается упругая прокладка, обеспечивающая смещение контактной линии из среднего сечения арочного зуба в середину зуба (точки M_1 и M_2) каждого из полуколес (рис. 2, б). В результате получается адаптивная передача, подобная шевронной, но с точечным начальным контактом зубьев в зацеплении.

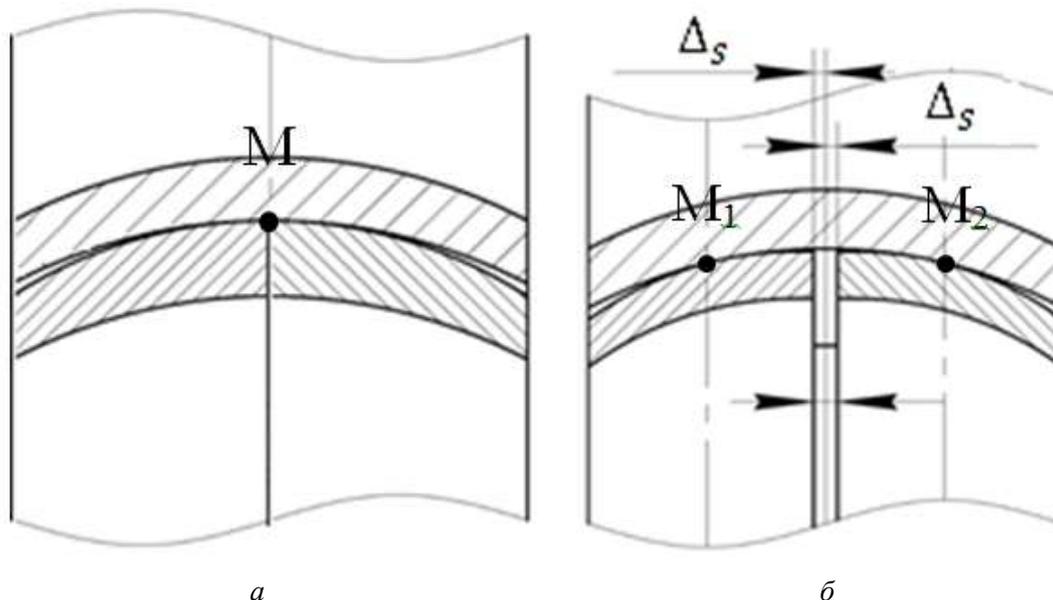


Рис. 2. Схема образования передачи с разнесенными зонами контакта

Определение геометрических параметров и характеристик главных поверхностей арочных зубьев шестерни и колеса осуществляется по результатам работы [8]. Производящая поверхность инструмента (прямого кругового конуса) для нарезания шестерни методом обката с периодическим делением [2, 4, 6, 7, 11], имеют вид уравнения 1 и 2, а для колеса уравнения 3 и 4:

$$x_{p1} = C_1 \cos \vartheta_1; y_{p1} = u_1 \cos \alpha_0; z_{p1} = C_1 \sin \vartheta_1; \quad (1)$$

$$m_{xp1} = \cos \alpha_0 \cos \vartheta_1; m_{yp1} = -\sin \alpha_0; m_{zp1} = \cos \alpha_0 \sin \vartheta_1; \quad (2)$$

$$x_{p2} = C_2 \cos \vartheta_2; y_{p2} = u_2 \cos \alpha_0; z_{p2} = C_2 \sin \vartheta_2; \quad (3)$$

$$m_{xp2} = \cos \alpha_0 \cos \vartheta_2; m_{yp2} = -\sin \alpha_0; m_{zp2} = \cos \alpha_0 \sin \vartheta_2. \quad (4)$$

При формообразовании главной поверхности арочного зуба шестерни резцовая головка согласованно с поворотом заготовки на угол φ_1 (параметр обкатки) вокруг своей оси вращения, математическая модель поверхности принимает вид уравнение 5, а для колеса уравнение 6:

$$\begin{aligned} \tilde{r}_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{A}_{1,p1}(\varphi_1) \cdot \tilde{r}_{p1}(u_1, \vartheta_1); \\ \tilde{m}_1(\vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{A}_{1,p1}(\varphi_1) \cdot \tilde{m}_{p1}(\vartheta_1); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{m}_{p1}(\vartheta_1) \cdot \tilde{V}_{\varphi_1}(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) = 0; \\ \tilde{r}_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) &= \tilde{A}_{2,p2}(\varphi_2) \cdot \tilde{r}_{p2}(u_2, \vartheta_2); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\tilde{f}_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = \tilde{m}_{p2}(\vartheta_2) \cdot \tilde{V}_{\varphi_2}(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = 0.$$

Исследование зацепления арочных зубьев колеса и шестерни связано с решением обратной задачи теории пространственных передач зацеплением [3, 10, 12], обеспечивающей определение координат точек касания активных поверхностей арочных зубьев (точек активной действующей линии) и расчет в этих точках главных приведенных кривизн, характеризующие

плотность прилегания контактирующих поверхностей зубьев. В результате были выведены математические зависимости для анализа геометрических характеристик зацепления арочных зубьев в условиях погрешностей шестерни и колеса в передаче. Система уравнений для решения обратной задачи зацепления при $\varphi_1 = const$ имеет вид, представленный в формуле 7:

$$\begin{aligned} \tilde{r}_1^1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{D}_{1,2}(\psi_1, \psi_2) \cdot \tilde{r}_2^2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2); \\ \tilde{m}_2^2(\vartheta_1, \varphi_1) &= \tilde{D}_{1,2}(\psi_1, \psi_2) \cdot \tilde{m}_2^2(\vartheta_2, \varphi_2); \\ f_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1) &= 0; f_2(u_2, \vartheta_2, \varphi_2) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Исследование геометрических характеристик зацепления передачи рассмотрим на примере исследования цилиндрической передачи, имеющей следующие параметры: количество зубьев $z_1 = 23$; $z_2 = 73$; модуль $m_n = 10$; коэффициенты смещения $x_1 = 0,44$ и $x_2 = 0,042$; ширина зуба $b_w = 120$ мм; $\alpha_0 = 20^\circ$; радиус начальной окружности $R_{w1} = 116,115$ мм и $R_{w2} = 368,540$ мм; межосевое расстояние $a_w = 484,655$ мм. Рассматриваются два варианта, первый – с высокой локализацией (далее в рисунках позиция а), второй – контакт близкий к линейному (далее в рисунках позиция б). На рис. 3 показаны положения активных действующих линий при не параллельности осей для двух вариантов исследования (рис. 3, а и рис. 3, б).

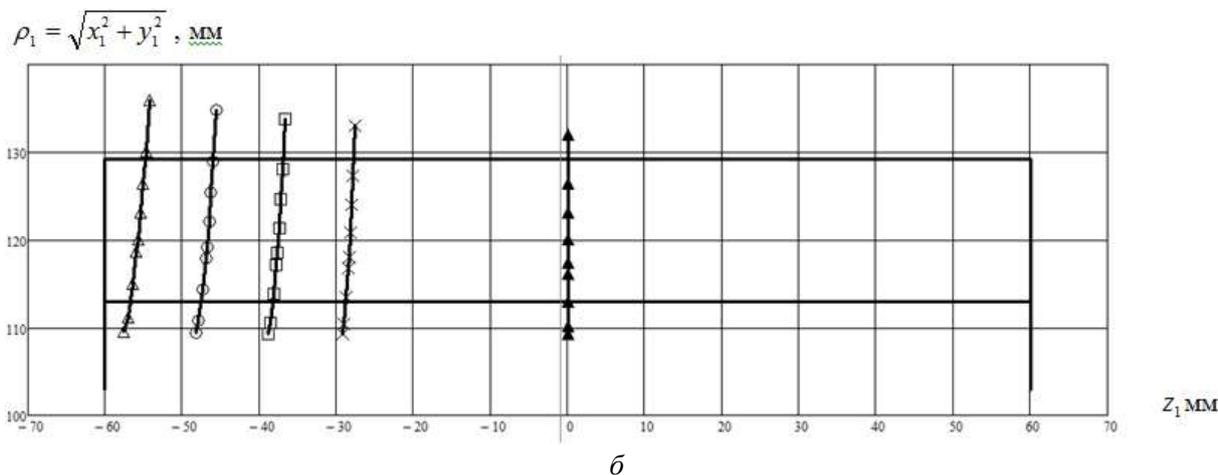
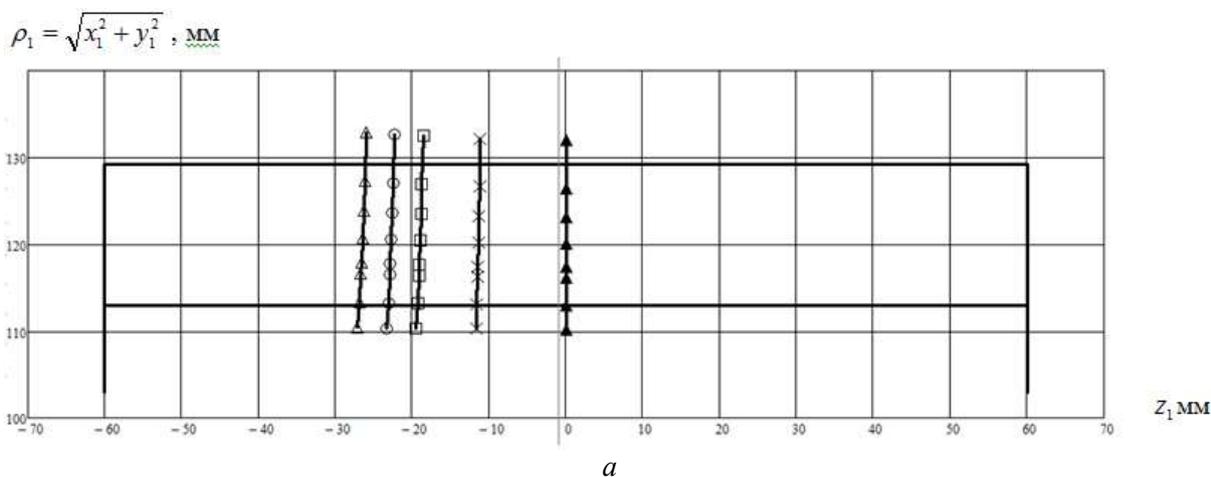


Рис. 3. Активные действующие линии в зацеплении при не параллельности:
 $\eta = 0'$ (▲); $\eta = 3'$ (x); $\eta = 5'$ (□); $\eta = 6'$ (○); $\eta = 7'$ (Δ)

На рис. 4 показаны положения активных действующих линий при перекосе осей шестерни и колеса для двух вариантов исследования (рис. 4, а и рис. 4, б).

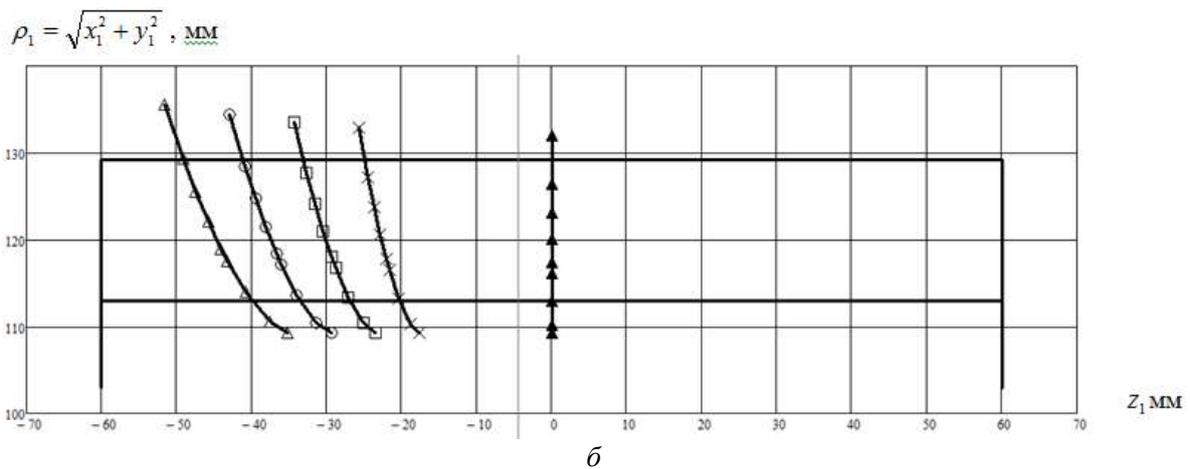
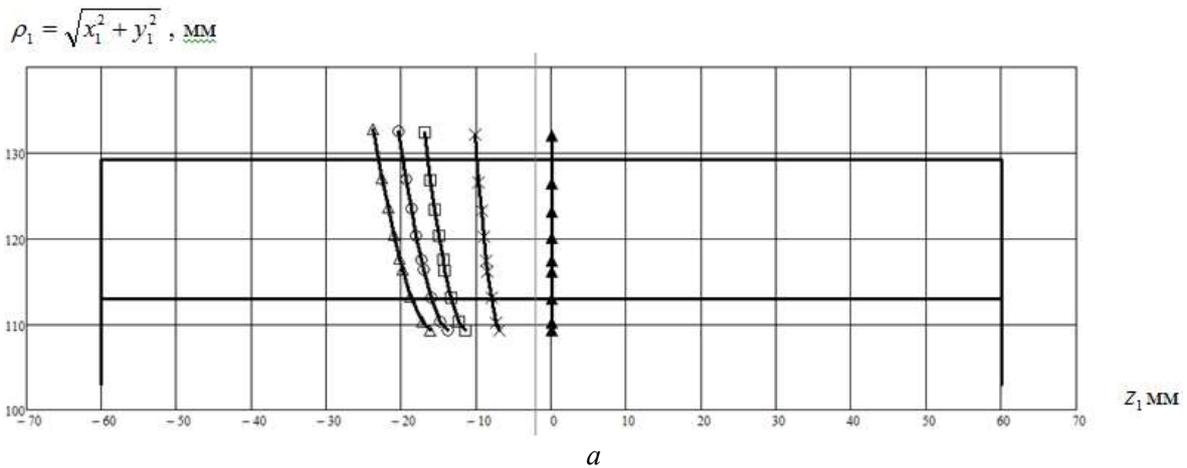


Рис. 4. Активные действующие линии в зацеплении при перекосе осей шестерни и колеса:
 $\gamma = 0'$ (\blacktriangle); $\gamma = 3'$ (\times); $\gamma = 5'$ (\square); $\gamma = 6'$ (\circ); $\gamma = 7'$ (\triangle)

На рис. 5 показаны положения активных действующих линий при смещении шестерни вдоль оси вращения Δ_S для двух вариантов исследования (рис. 5, а и рис. 5, б).

На основе анализа данных представленных на рис. 3, 4, 5 можно сделать вывод, что при отсутствии погрешностей ($\eta = \gamma = \Delta_S = 0$) рабочая линия располагается в среднем торцовом сечении арочного зуба, где угол его наклона $\beta = 0$, а профиль зуба как на шестерне, так и на колесе описывается эвольвентой. Передача является сопряженной, то есть функция положения $\psi_2 = \psi_2(\psi_2)$ является величиной постоянной и представляет собой передаточное отношение передачи, представлено в выражении 8:

$$i = \frac{z_2^*}{z_1^*} = \frac{\psi_1}{\psi_2} = const \quad (8)$$

Наличии погрешностей взаимного расположения шестерни и колеса в передаче вызывают смещение рабочих линий из среднего сечения арочного зуба и функция положения перестает быть постоянной, передача становится несопряженной, возникает циклическая погрешность зацепления арочных зубьев. Известно, что точки рабочей линии являются центром мгновенной площадки контакта, размеры которой зависят от плотности прилегания поверхностей зубьев в окрестности точки их касания. Рис. 3, 4, 5 показывают, что более плотный контакт зубьев (передача варианта 2) обеспечивает снижение контактной нагрузки в зацеплении, однако при наличии погрешностей приводит к значительному смещению рабочих линий из среднего сечения зуба и выходу площадок контакта на торец зубьев.

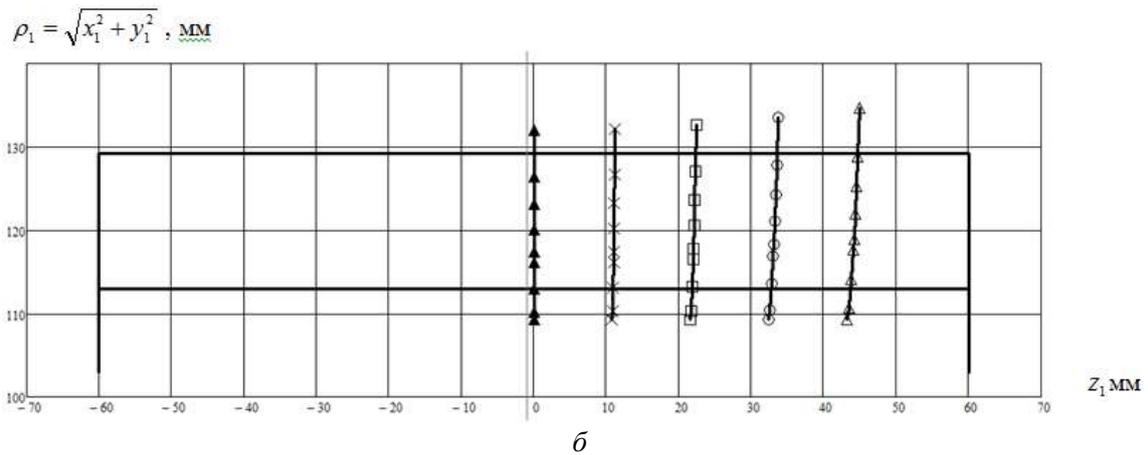
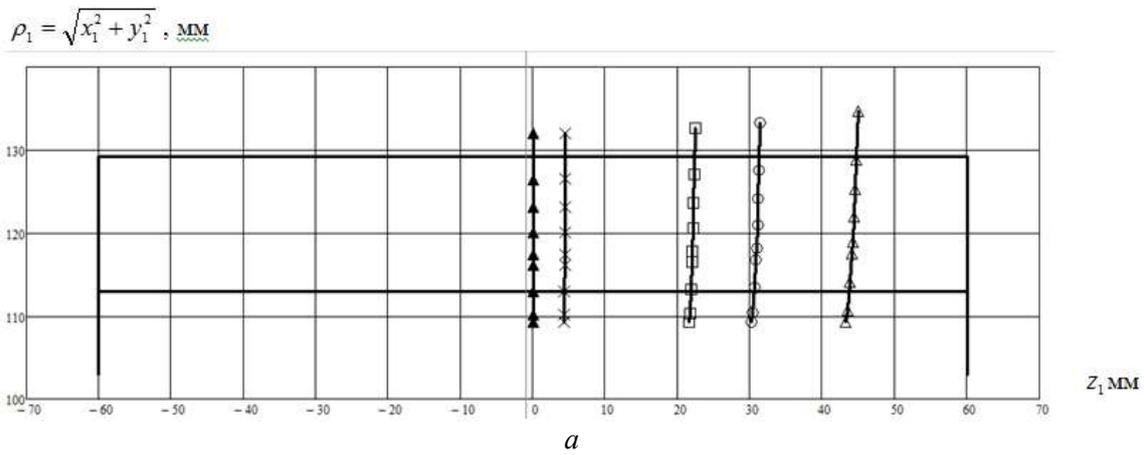


Рис. 5. Активные действующие линии в зацеплении при перекосе осей шестерни и колеса:
 $\Delta_s = 0'$ (\blacktriangle); $\Delta_s = 3'$ (\times); $\Delta_s = 5'$ (\square); $\Delta_s = 6'$ (\circ); $\Delta_s = 7'$ (\triangle)

Проектируемая цилиндрическая передача за счет самоустановки полуколес адаптируется к полю возникающих погрешностей и изменению внешней нагрузки. Особенностью проектируемой передачи является обеспечение в любой фазе зацепления касания арочных зубьев шестерни и колеса в двух (точки M_1 и M_2), симметрично расположенных относительно среднего сечения зуба, зонах (рис. 2, б). Контакт в середине полуколес, приводит к возникновению в адаптивной передаче двух осевых сил, направленных навстречу друг другу по аналогии с шевронной передачей. Нарушение, равновесия возникающих сил вызывает смещение полуколес вдоль оси вращения относительно друг друга и передача самоустанавливается. Для снижения чувствительности передач к погрешностям изготовления, установки и эксплуатации, в общем случае необходима локализация контакта в обоих направлениях – как по длине, так и по высоте зуба. Определим центр пятна контакта (ЦПК) на поверхности арочного зуба, относительно которого рассчитываются границы инерционной зоны касания, необходимой для контроля передачи. В ЦПК мгновенное передаточное отношение передачи равно отношению чисел зубьев колеса и шестерни. В качестве ЦПК на поверхности арочного зуба шестерни зададим для левого и правого полуколеса точки M_1 и M_2 с координатами, выражение 9 и 10 соответственно:

$$z_1 = (u_1, \vartheta_1) = -\frac{b_w}{2}; \sqrt{[x_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2 + [y_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2} = R_{w1} \quad (9)$$

$$z_1 = (u_1, \vartheta_1) = +\frac{b_w}{2}; \sqrt{[x_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2 + [y_1(u_1, \vartheta_1, \varphi_1)]^2} = R_{w1} \quad (10)$$

Дополнив систему уравнений 7 уравнениями 9 и 10, получим систему девяти трансцендентных уравнений при $\gamma = 0$, определим значения $u_1^*, \vartheta_1^*, \varphi_1^*, u_2^*, \vartheta_2^*, \varphi_2^*, u_1^*, \psi_1^*, \psi_2^*, \Delta_s^*$, при ко-

торых активная действующая линия проходит через ЦПК для левого и правого полуколеса в точках M_1 и M_2 соответственно. На рис. 6 и 7 показаны две активные действующие линии (сплошная линия) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении для цилиндрической передачи с арочными зубьями варианта 1 при перекосе осей шестерни и колеса $\gamma = 0$ и $\gamma = 0,0030$.

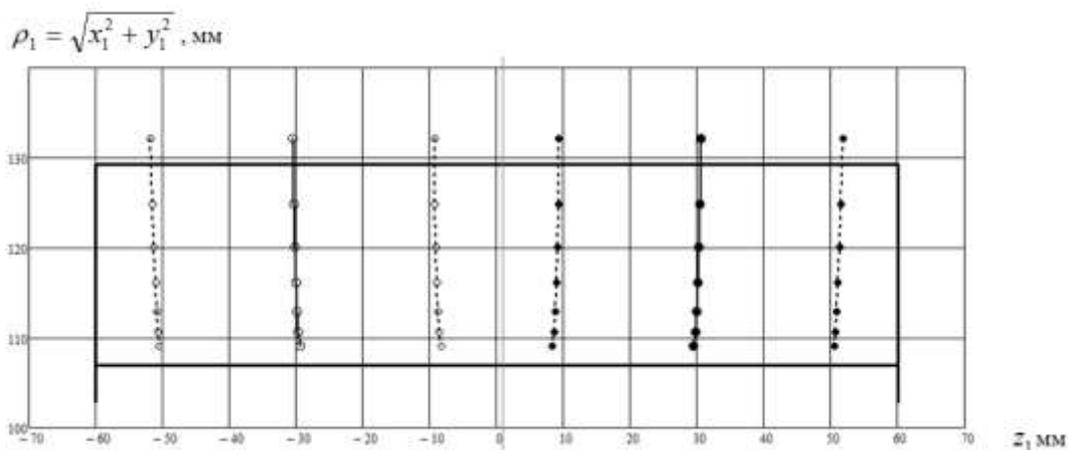


Рис. 6. Рабочие линии (сплошные кривые) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении арочных зубьев адаптивной цилиндрической передачи (вариант 1) $\gamma = 0$

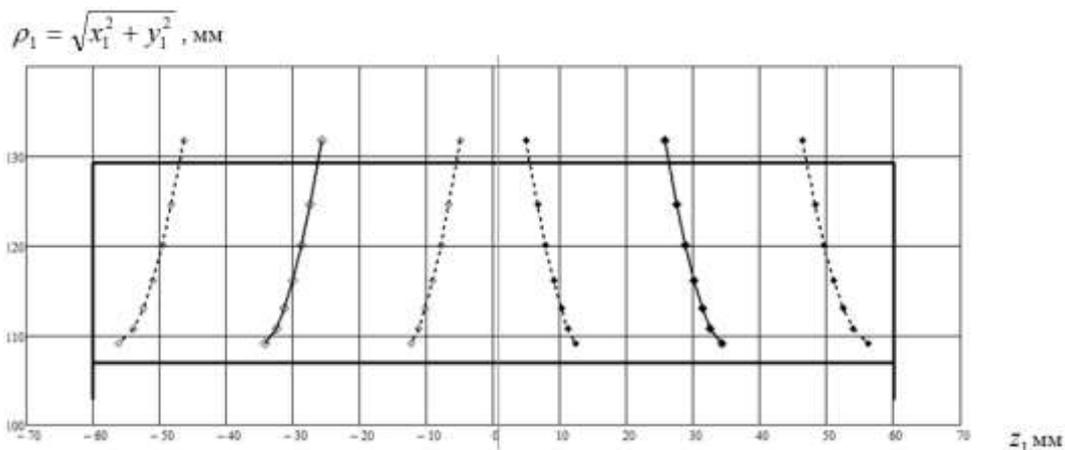


Рис. 7. Рабочие линии (сплошные кривые) и границы тормозных зон контакта (пунктирные линии) в зацеплении арочных зубьев адаптивной цилиндрической передачи (вариант 1) $\gamma = 0,0030$

Рис. 6 и рис. 7 наглядно демонстрируют изменения геометрических параметров контакта в передаче при наличии перекоса арочных зубьев.

Выводы

Используя теорию пространственных зубчатых передач зацеплением построены математические модели процесса формообразования арочных зубьев цилиндрических колес. Рассмотрено зацепление арочных зубьев в условиях наличия угла перекоса и угла непараллельности осей колес, смещения колес в осевом направлении. На основе решения обратной задачи теории передач зацеплением разработаны алгоритмы и программы по расчету координат точек касания арочных зубьев, главных приведенных кривизн в этих точках для различных фаз зацепления при работе передачи в условиях погрешностей взаимного положения шестерни и колеса. Предложен вариант цилиндрической передачи с арочными зубьями, в котором один из ее элементов, например колесо, изготавливается сборным, состоящим из двух полуколес с зеркальной геометрией арочных зубьев. В предложенной передаче зацепление арочных зубьев осуществляется в двух,

расположенных симметрично относительно середины арочного зуба, зонах касания. Разработан алгоритм решения задачи определения необходимых осевых смещений полуколес, обеспечивающий расположение центров пятен контакта полуколес в середине их арочных зубьев. Размещение полуколес на валу с возможностью осевого перемещения обеспечивает самоустановку полуколес и компенсацию негативного влияния погрешностей на работоспособность передачи. Представлены результаты исследования положения активных действующих линий и тормозных зон касания арочных зубьев в самоустанавливающейся передаче при отсутствии и наличии погрешностей взаимного положения шестерни и колеса.

Список используемых источников

1. Alfonso F.-A., Ramon R.-O., Ignacio G.-P. Comparison of spur, helical and curvilinear gear drives by means of stress and tooth contact analyses. *Meccanica*. – Vol.52 – P. 1721–1738. – DOI: 10.1007/s11012-016-0515-y, (2017).
2. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V.: Cylindrical gears with arched teeth: geometry, strength, reliability. Tyumen Industrial University. Tyumen (2021).
3. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V.: Formation of arched teeth of cylindrical wheels and geometric-kinematic characteristics of their gears. Tyumen Industrial University. Tyumen (2023).
4. Syzrantsev V.N. Cylindrical Arc Gears: History, Achievements, and Problem. *Mechanisms and Machine Science*. – Vol. 101. – P. 131–151. – DOI: 10.1007/978-3-030-73022-2_6, (2021).
5. Lagutin S.A.: Predetermination of the error function in gears with double modification of teeth. Space of gears: dokl. scientific seminar of the Educational and Scientific Center for Gear Transmissions and Gearbox Engineering, Izhevsk, Izhevsk State Technical University. – P. 26–37 (2001).
6. Arafa H.A. C-gears: geometry and machining, Part C. *Journal of Mechanical Engineering Science*. – Vol. 219. – No. 7. – P. 709–726, (2005).
7. Bochkova D. E., Bobkov M. N., Zolotova S. A. Processing circular teeth of a pair of cylindrical wheels with a localized contact zone. *News of the Tula State University, Technical science*. – Vol. 5. – P. 344–349, (2020).
8. Syzrantsev V., Starikov A. Modeling of Generating Cylindrical Gear Arc Teeth Shaping Processes. Radionov A.A. (edt), Gasiyarov V.R. (edt). *Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Cham, Springer, DOI: doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3_6, (2023).
9. Syzrantsev VN, Syzrantseva KV, Vibe VP, Denisov YuG Adaptive spur gear with arched teeth, pat. 2721579 Russian Federation, MPK F 16 N 1/06. Firm «STEK» Limited Liability Company, Kurgan. (2020).
10. Syzrantsev V., Syzrantseva K. The Arc Teeth Semi-rolled Cylindrical Gear Meshing Geometry. *Acta Polytechnica Hungarica*. – Vol. 19. – No. 2. – P. 173–192, (2022).
11. Parshin A.N.: Manufacturing of cylindrical wheels with arched teeth and cutting heads on CNC machines and experience in their manufacture. Goldfarb V.I. (under scientific. ed) *Theory and practice of gear transmissions: collection of articles of the International symposium*, Izhevsk, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. – P. 151–159 (2014).
12. Syzrantsev V.N.: Cylindrical Gears with Contact Areas Distributed Along the Arc Teeth Length. *Messenger of the Izhevsk State Technical University named after M.T Kalashnikov*. – Vol. 24. – No. 2. – P. 33–39. – DOI: 10.22213/2413-1172-2021-2-33-39, (2021).
13. Arafa H.A., Bedewy M.: Manufacturability and viability of different c-gear types: a comparative study. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, Chicago. – Vol. 5. – p. 381. – DOI: 10.1115/DETC2012-71030 (2012).

СЕКЦИЯ 2
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАТРОННОГО УДАРНОГО СТЕНДА

Попов А.Н.¹, Полищук М.Н.², Решетов Д.В.³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАУР, доцент,
e-mail: porka.n@mail.ru

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАУР, доцент,
e-mail: polishuck@mail.ru

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ВШАУР, аспирант,
e-mail: pvclol@yandex.ru

В работе исследуется мехатронный испытательный ударный стенд с пневматическим приводом типа СМУ600. Кинематическая схема ударной машины стенда, принципы работы которой описаны в [1, 2], приведена на рис. 1. Отличительной особенностью конструкции машины являются узлы направляющих ударного стола 3 и приводных пневматических цилиндров 5, изготовленных в виде единых модулей.

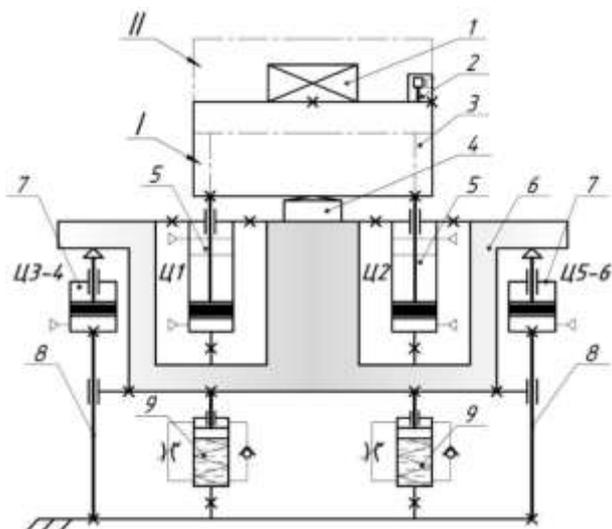


Рис. 1. Схема ударной машины стенда СМУ600:

1 – испытываемое изделие; 2 – вибропреобразователь; 3 – ударный стол;
4 – формирователь импульсов ударного ускорения; 5 – приводной пневматический цилиндр;
6 – инерционный блок (ИБ); 7 – пневматический цилиндр подвески; 8 – направляющие ИБ;
9 – пневмогидравлический демпфер

По результатам пробных ударов, выполненных с использованием формирователей различных типов (пример импульса ускорения представлен на рис. 2, б), была построена рабочая диаграмма стенда (рис. 2, а), ограниченная минимальной и максимальной длительностями импульса ударного ускорения τ , оцененными на основании практики испытаний и регламентирующих стандартов [4], с одной стороны, с другой – экспериментальными значениями предельных скоростей ударного стола v . Связь между параметрами импульса ударного ускорения и скоростью ударного стола определялась по выражению [5]

$$v = \frac{m + M}{M} \cdot \frac{A\tau}{\pi - 2\arcsin(0,1)} \quad (1)$$

где A – пиковое ударное ускорение; m – масса ударного стола, M – масса ИБ; τ – длительность импульса ударного ускорения.

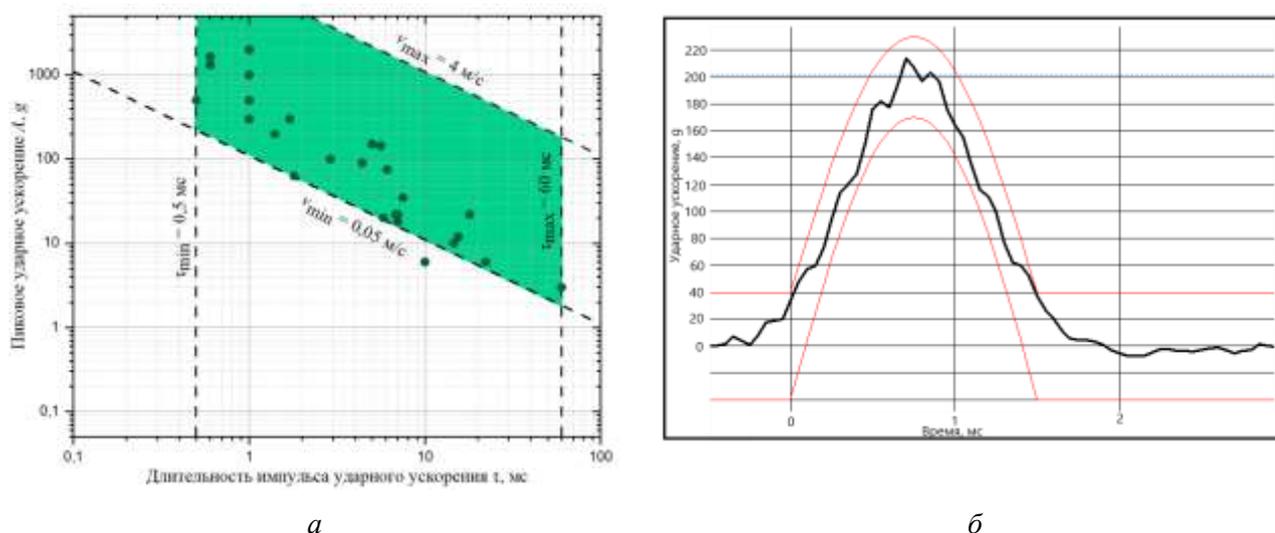


Рис. 2. Результаты экспериментов на стенде СМУ600:
 а – рабочая диаграмма; б – типовой импульс ударного ускорения

Минимальная и максимальная скорости стола зависят от компоновки, технических характеристик и режимов работы пневмоавтоматики, входящей в состав мехатронного привода ударной машины. В стенде СМУ600 скорость стола перед соударением с формирователем импульса ускорения была определена экспериментально и варьировалась в диапазоне от 0,05 до 4,0 м/с. Зона ограничения по скоростям построена при подстановке этих значений в формулу (1).

Экспериментальные значения сочетаний A и τ , расположенные вдоль вертикальных и горизонтальных линий, обусловлены использованием в качестве формирователей широкой номенклатуры материалов, применяемых на практике: полиуретановых композиций, сополимеров полиэтилентерефталата, полиацетали, эластомеров, нетканых материалов и др.

Полученные импульсы ударного ускорения попадают в область рабочей диаграммы, определяемую теоретической формулой (1). Отсутствие экспериментальных точек сочетаний A и τ , на прямой $v = 4 \text{ м/с}$ говорит о том, что в процессе экспериментов, с учетом требований заказчика стенда, предельная скорость ударного стола не была достигнута и есть запас.

Ударный стенд серии СМУ600 позволяет воспроизводить импульсы ударного ускорения в широком диапазоне перегрузок: 3...2000 g и длительностей ударного воздействия: 0,5...60 мс, что соответствует достигнутому техническому уровню в лучших образцах ударных стендов.

Список литературы

1. Bin W., Chengwu L., Jingjing W. The optimized algorithm for working parameters of the vertical impact testing machine. Paper presented at the ICEMI 2017 – Proceedings of IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2018-January. – 2017. – P. 424–430.
2. Polishchuck M.N., Popov A.N., Reshetov D.V. Mathematical model of shock machine. Advances in Mechanical Engineering, LNME, P. 86–96, 2022.
3. ГОСТ Р ИСО 8568-2010 Стенды ударные. Заявление и подтверждение характеристик.
4. Попов А.Н. Моделирование удара на универсальном вертикальном стенде типа СМУ500 / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Д.В. Решетов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2024. – № 13. – С. 422–433. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id24-112.
5. Попов А.Н. Моделирование работы горизонтального ударного стенда / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Д.В. Решетов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2023. – № 12. – С. 336–349. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id23-543.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ДЕМПФЕР НА ОСНОВЕ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

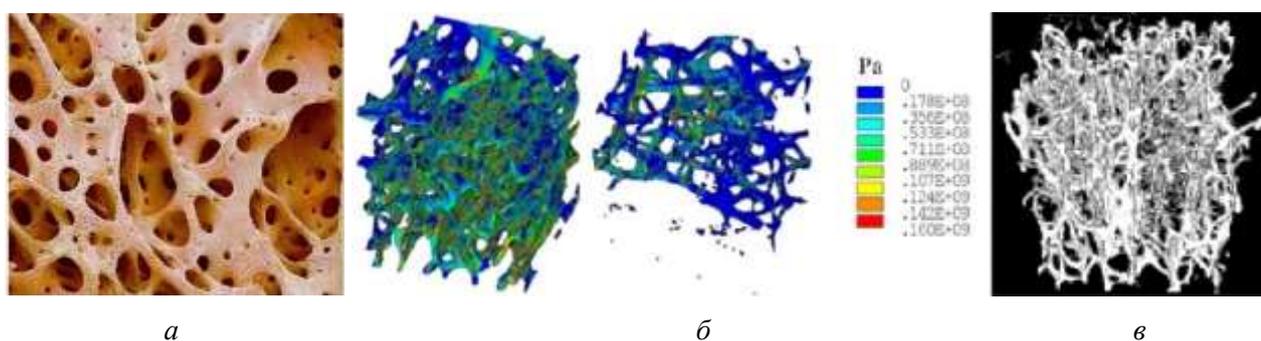
*Коптев И.К.¹, студент группы 4АМ4К ИШНПТ ТПУ
Ермаков Д.В.², к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ
Дерусова Д.А.³, д.т.н., заведующий лаборатории ЛЛВМ ЦПТ ИШНКБ ТПУ
НИ ТПУ, РФ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
¹e-mail: ikk9@tpu.ru,
²e-mail: dvermakov@tpu.ru,
³e-mail: red@tpu.ru*

Вибрация и шум негативно влияют на износ электромеханических устройств (ЭМУ) и снижают их срок эксплуатации, а также являются вредным производственным фактором оказывая негативное влияние на здоровье операторов. В связи с этим, снижение виброактивности ЭМУ является важной и актуальной научно-технической задачей.

В некоторых случаях для снижения виброактивности ЭМУ предлагается использовать твердотельные демпфирующие материалы. Данные материалы способны рассеивать энергию при упругой деформации под воздействием приложенной нагрузки в течении длительного времени. В тоже время для эффективного снижения виброактивности в диапазоне рабочих частот вращения ротора ЭМУ необходимо подбирать геометрию конструкции демпфера и материал, обладающий подходящими механическими свойствами.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют создавать конечно-элементные модели демпфирующих элементов сложной конфигурации и проводить численное моделирование механических процессов, возникающих при работе ЭМУ с демпфером. Это позволяет снизить количество натурных испытаний и создать твердотельный демпфер оптимальной конфигурации для снижения виброактивности определенного спектрального состава, исходя из особенностей функционирования конкретного ЭМУ.

Исследования в области медицины показали эффективность сдерживания нагрузок и механических возмущений с использованием трабекулярных структур, составляющих основу костной ткани. Такие структуры имеют неоднородную пористую форму и неравномерно распределены в объеме кости. На рис. 1, а приведен пример трабекулярной структуры костной ткани. Детальный вид показывает особенности строения трабекул: наличие структур в виде пучков, стоек и стержней. Имея 3D-модель трабекулярной структуры можно создать конечно-элементную модель (рис. 1, б, в) для проведения дальнейшего анализа и воспроизводства методом 3D-печати.



*Рис. 1. Примеры трабекулярных структур:
а – детальный вид костной ткани, б – расчетная модель демпфера с трабекулярной структурой,
в – 3D-модель демпфера*

Поскольку трабекулы в объеме кости расположены не линейно, они воспринимают как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки ослабляя при этом динамическое воздействие на костную ткань. Из этого следует предположение, что трабекулярная структура может

применяться для создания твердотельных демпферов. В частности, изменение геометрии трабекулярной структуры позволит перераспределить вибрационную нагрузку в своем объеме и регулировать уровень остаточной виброактивности.

Несмотря на то что, в настоящее время на рынке САПР присутствуют различные САД-системы, отличающиеся между собой как по функциональности, так и по стоимости, применить САПР для реализации существующей идеи построения демпфера на основе трабекулярной структуры, не представляется возможным. В связи с этим, в качестве материалов, аналогичных по строению с трабекулярными структурами, предлагаются пенометаллы. Данные материалы сочетают в себе и удельную жесткость, и способность диссипировать в своем объеме энергию, а, следовательно, подходят для создания твердотельных гасителей вибрационных колебаний.

В настоящей работе для создания твердотельного демпфера, имеющего пористую структуру, схожую с трабекулярной, предлагается использовать пеноалюминий. Разработанный макет твердотельного демпфера (рис. 2, а) содержит основание для крепления ЭМУ, фрагмент гасителя колебаний на основе пеноалюминия и крепежные детали, как показано на рис. 2, б.

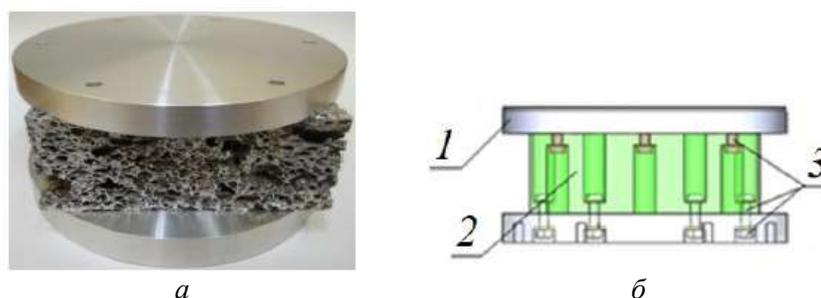


Рис. 2. Фотография (а) и 3D-модель (б) макета твердотельного демпфера:
1 – основание крепления ЭМУ, 2 – фрагмент гасителя колебаний на основе пеноалюминия,
3 – крепежные детали макета

Разработанный макет твердотельного демпфера подвергнут виброиспытаниям для снижения виброактивности ЭМУ в рабочем диапазоне частот вращения ротора. Демпфирование уровня виброактивности оценивалось по расчетному коэффициенту эффективности:

$$K_{\text{эффек}} = \frac{A_{\text{Демп}}}{A_{\text{ЭМУ}}},$$

где: $A_{\text{ЭМУ}}$ – среднеквадратичное значение амплитуды виброперемещения на установочной поверхности ЭМУ без демпфера; $A_{\text{Демп}}$ – среднеквадратичное значение амплитуды виброперемещения на установочной поверхности демпфера (с установленным ЭМУ).

В результате исследования получена зависимость коэффициента эффективности от частоты вращения ротора ЭМУ (рис. 3).

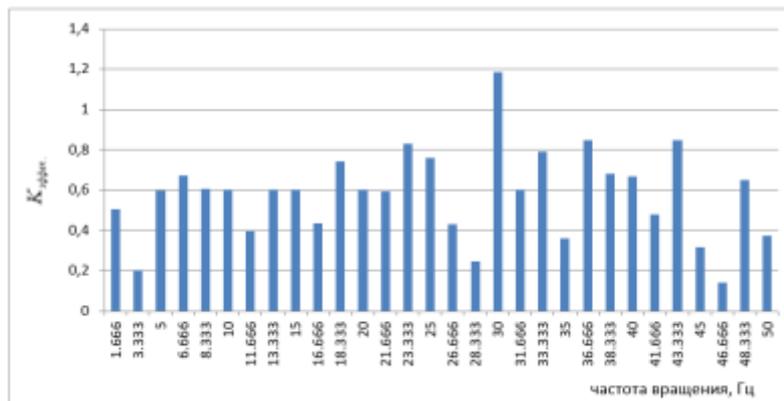


Рис. 3. Изменение коэффициента эффективности от частоты вращения ротора ЭМУ

Как видно из рис. 3, значение $K_{\text{эффект}}$ преимущественно не превышает 1, что подтверждает снижение виброактивности ЭМУ за счет использования предложенного решения. Это позволяет сделать вывод о том, что твердотельный демпфер на основе пеноалюминия, имеющий структуру, подобную трабекулярной, способен снизить уровень виброактивности ЭМУ.

Благодарности: Работа выполнена в рамках гранта РФФ № 23-79-10107.

Список литературы

1. Гаврилин А.Н., Дмитриев В.С., Ермаков Д.В., Дерусова Д.А. Снижение виброактивности вентилятора системы жизнеобеспечения нефтегазовых станций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 128–137. – DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4293.

РАСЧЕТ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАСТРАИВАЕМОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Кулеш Ю.О.¹, Беляускене Е.А.², Боловин Е.В.³

¹*СТИ НИЯУ МИФИ, гр. Д-554,*

e-mail: yok13@tpu.ru;

¹*ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОАР/ИШИТР, инженер,*

e-mail: yok13@tpu.ru;

²*ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОММФ/ИЯТШ, старший преподаватель,*

e-mail: eam@tpu.ru;

³*ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОЭЭ/ИШЭ, доцент,*

e-mail: orange@tpu.ru

Информационно-измерительная система (ИИС) нестационарного динамического объекта представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для автоматического получения, обработки и представления информации о состоянии и характеристиках объекта, который изменяется во времени. Разработка моделей ИИС является необходимым условием для повышения эффективности, надежности и точности работы таких систем [1]. Модели позволяют выявлять зависимости между переменными, прогнозировать поведение систем в условиях изменяющихся параметров и внешних воздействий, адаптироваться к изменяющимся условиям, оптимизировать ресурсы и обеспечивать высокое качество измерений и управления процессами в реальном времени. Одним из наиболее распространенных методов моделирования ИИС нестационарных динамических объектов является построение и настройка регрессионных моделей методом наименьших квадратов (МНК). Проверка адекватности построенной регрессионной модели является важным этапом в статистическом анализе и позволяет определить, насколько хорошо модель описывает эмпирические данные и может ли она быть использована для прогнозирования [2].

Работа посвящена исследованию на адекватность и сравнению между собой трех регрессионных моделей. Для создания моделей использовались данные ($N = 1023$ замеров, что соответствует рациональной рекомендации $N > 200$ [3, с. 101, 102]), снятые с датчика тока одной из фаз электродвигателя АМ с ФЗ МТН011-6У1, справочные данные которого внесены в табл. 1.

Таблица 1

$P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$I_{\text{ном стат}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном рот}}, \text{А}$	$U_{\text{ном рот}}, \text{В}$	КПД, %	$\cos\varphi$
1400	890	4,9	220/380	8,8	114	65	0,67

На основании визуальной оценки зависимости тока от времени (рис. 1) были выбраны модели из класса многочленов Фурье:

$$F_1(A_1, B_1, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t), \quad (1)$$

$$F_2(A_1, B_1, A_2, B_2, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t), \quad (2)$$

$$F_3(A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t) + A_3 \sin(5\omega t) + B_3 \cos(5\omega t), \quad (3)$$

где угловая частота $\omega = 2\pi f$, $f = 50 \text{Гц}$.

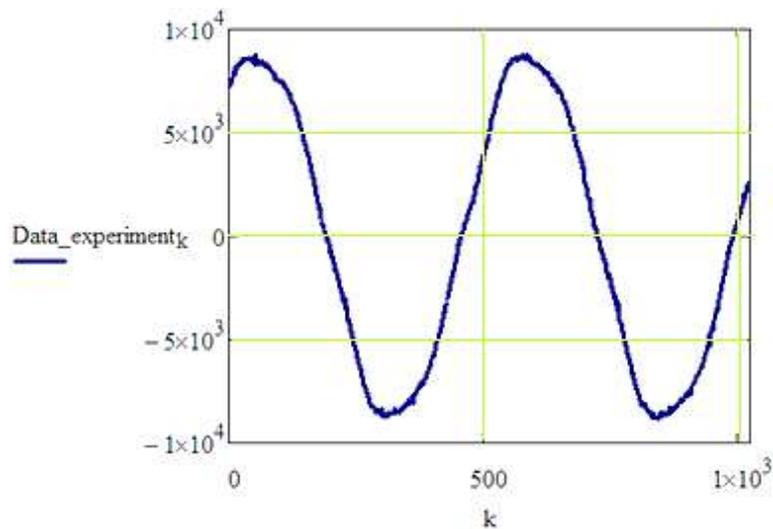


Рис. 1. Данные, полученные с датчика тока

Коэффициенты регрессионных моделей были получены с использованием метода наименьших квадратов (МНК) и проекционного алгоритма Качмажа.

Оценка качества построенных моделей выполнена на основе анализа регрессионных остатков. Оценки коэффициентов, полученных по методу наименьших квадратов, являются состоятельными, несмещенными и эффективными, если остатки $\varepsilon_k = y_k - \hat{y}_k$, где y_k – эмпирические данные, \hat{y}_k – данные, рассчитанные по модели, независимы и подчиняются нормальному закону распределения с математическим ожиданием $E[\varepsilon_k] = 0$. Начинать анализ адекватности построенной модели следует с проверки гипотезы о нормальном распределении остатков. В настоящем исследовании на основании визуального анализа гистограммы и выборочной функции распределения, правила трех сигм, сравнения средних (мода, медиана, математическое ожидание) и критерия Пирсона был сделан вывод о том, что нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу на уровне значимости $\alpha = 0,98$. Гипотеза о равенстве математического ожидания остатков нулю согласуется с эмпирическими данными (уровень значимости $\alpha = 0,95$) на основании критерия о равенстве математических ожиданий эмпирических данных и данных, полученных по формулам (1)–(3) (дисперсии неизвестны, гипотеза о равенстве дисперсий принимается по критерию Фишера) [4].

Коэффициент детерминации является статистической мерой для оценки качества регрессионной модели и показывает, какая доля вариации зависимой переменной объясняется независимыми переменными в модели

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где y_k – эмпирические данные, \hat{y}_k – данные, рассчитанные по модели, \bar{y} – математическое ожидание.

Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1, при этом значение:

- $R^2 > 0,8$ указывает на хорошее соответствие модели эмпирическим данным;
- $R^2 > 0,5$ означает удовлетворительное соответствие модели;
- $R^2 < 0,5$ указывает на то, что модель плохо объясняет данные и может быть неэффективной.

Вычисленные значения коэффициента детерминации для моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модель	1	2	3
Значение R^2	0,994	0,995	0,996

Анализ остатков каждой модели показал, что они распределены случайным образом вокруг нуля, не демонстрируют систематических отклонений или паттернов, что подтверждает правильность выбранной формы моделей и отсутствие гетероскедастичности. Все три модели обеспечивают надежные результаты и могут быть использованы для управления диагностики и идентификация параметров электродвигателем в различных режимах работы. Высокое качество предсказаний позволяет использовать эти модели для оптимизации процессов управления и повышения эффективности работы электроприводов. Апостериорная проверка косвенно показала справедливость принятого допущения по рекомендации выбора размера выборки $N > 200$ [3].

Список литературы

1. Ефименко С.В., Татаринов Д.Е., Клавдиев А.А., Трушников В.Е. Обоснование метода оценки адекватности моделей режимов работы асинхронных электродвигателей с векторной системой управления. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2017. – № 2. – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/62_74_2_2017.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
2. Боловин Е.В. Критический экспертный анализ методов идентификации параметров асинхронных двигателей. – Текст: электронный // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriticheskiy-ekspertnyy-analiz-metodov-identifikatsii-parametrov-asinhronnyh-dvigatelay> (дата обращения: 18.11.2024).
3. Сажина О.С. Основы математической обработки наблюдательных и экспериментальных данных для астрономов. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2020. – URL: https://www.sai.msu.ru/ao/specourses/posobiya/Sazhina_MON2021.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
4. Глазырин А.С. и др. О рациональной размерности базиса регрессионной модели для задачи адаптивного краткосрочного прогнозирования состояния дискретной нестационарной динамической системы. – Текст: электронный // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – № 11. – URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/4482> (дата обращения: 19.11.2024).

РАЗРАБОТКА ПИД-КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Авад П.А.¹, Мамонова Т.Е.²
¹ТПУ, ИШИИЭС, гр. 6ВМ41ПИШ,
e-mail: paa13@tpu.ru
²ТПУ, ИШИИЭС, к.т.н., доц.,
E-mail: stepte@tpu.ru

Введение

Целью данной работы является создание модели роботизированного манипулятора и разработка ПИД-контроллера для управления его движением с использованием программная среда. Эти программные среды позволяют строить точные физические модели, обеспечивая реалистичное моделирование манипулятора и эффективное внедрение системы управления. Этапы работы включают проектирование модели, настройку ПИД-контроллера, симуляцию движений и анализ результатов.

Роботизированные манипуляторы широко применяются в промышленности, медицине и научных исследованиях для выполнения высокоточных задач, таких как сборка, сварка и упаковка. Для качественного выполнения этих задач требуется точное управление движением звеньев [1] и суставов, что можно реализовать через ПИД-контроллеры. ПИД-контроллер обеспечивает корректировку отклонений от заданной траектории в реальном времени, улучшая точность и стабильность работы манипулятора на рис. 1.

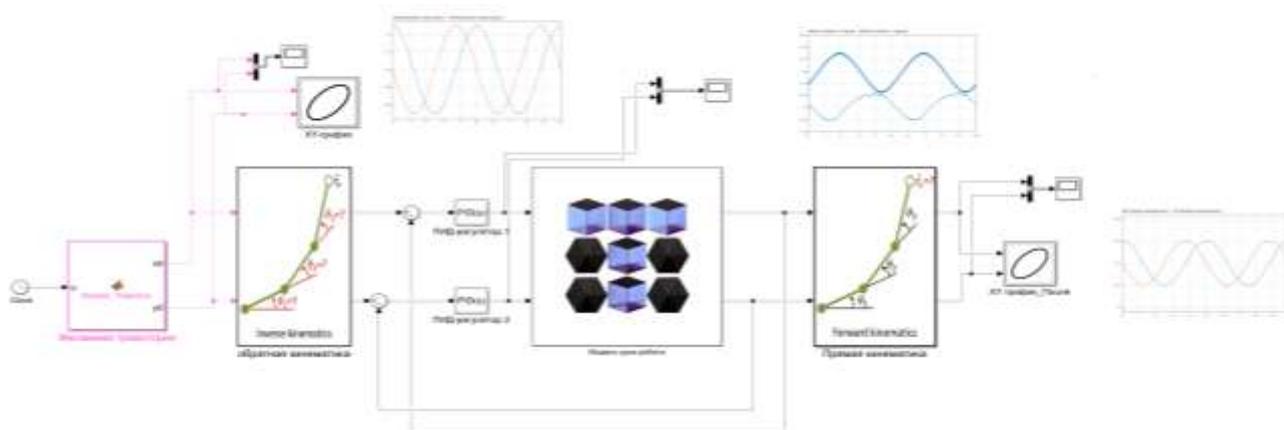


Рис. 1. Модели роботизированного манипулятора и разработка пид-контроллера для управления его движением с использованием программная среда

Основы электромеханики и мехатроники, особенности роботизированных манипуляторов

В данном разделе описываются основные принципы электромеханики и мехатроники, которые лежат в основе проектирования и управления роботизированными системами. Электромеханика изучает процессы преобразования электрической энергии в механическую и наоборот, что является основой для работы электроприводов в роботах. Мехатроника, в свою очередь, объединяет механические, электрические и компьютерные компоненты для создания высокоточных систем управления движением на рис. 2.

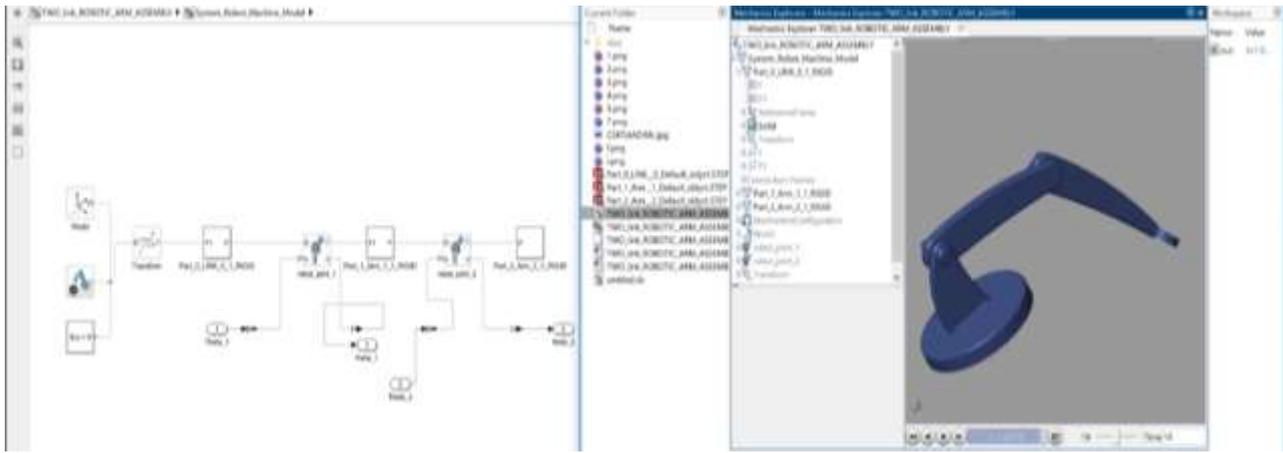


Рис. 2. Конструкции и управления роботизированными манипуляторами

Создание модели манипулятора в программная среда для моделирования

Проектирование 3D-модели роботизированного манипулятора и его составных частей. На этом этапе разрабатывается виртуальная 3D-модель манипулятора с использованием инструментов программная среда для моделирования и симуляции инженерных систем на рис. 3. Сначала создаются основные компоненты, такие как звенья и суставы манипулятора. Каждое звено моделируется с учетом его физических характеристик, таких как длина, масса и центр тяжести. Затем моделируются кинематические связи между звеньями, что позволяет задать структуру робота и его подвижность. Эта модель в программная среда для моделирования и симуляции инженерных систем станет основой для тестирования [2] различных контроллеров и проведения симуляций. В результате создается виртуальный аналог роботизированного манипулятора, который можно исследовать в условиях, максимально приближенных к реальным.

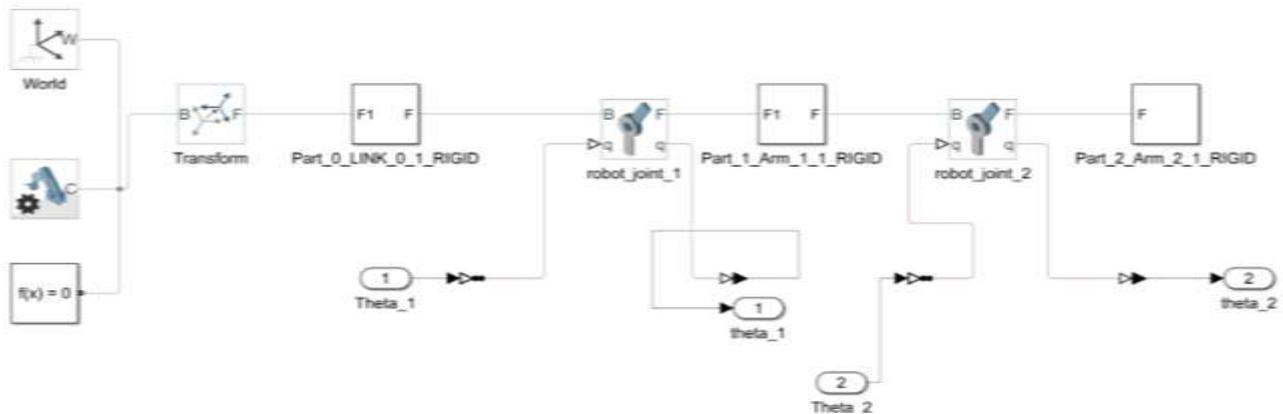


Рис. 3. Разрабатывается виртуальная 3D-модель манипулятора с использованием инструментов программная среда для моделирования

Настройка ПИД-контроллера

Подбор и настройка ПИД-контроллера для управления звеньями манипулятора на рис. 4. После создания модели манипулятора необходимо настроить ПИД-контроллер, который будет управлять движением каждого звена. На этом этапе подбираются параметры ПИД-контроллера: пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие. Эти параметры определяют, насколько точно манипулятор будет следовать заданной траектории.

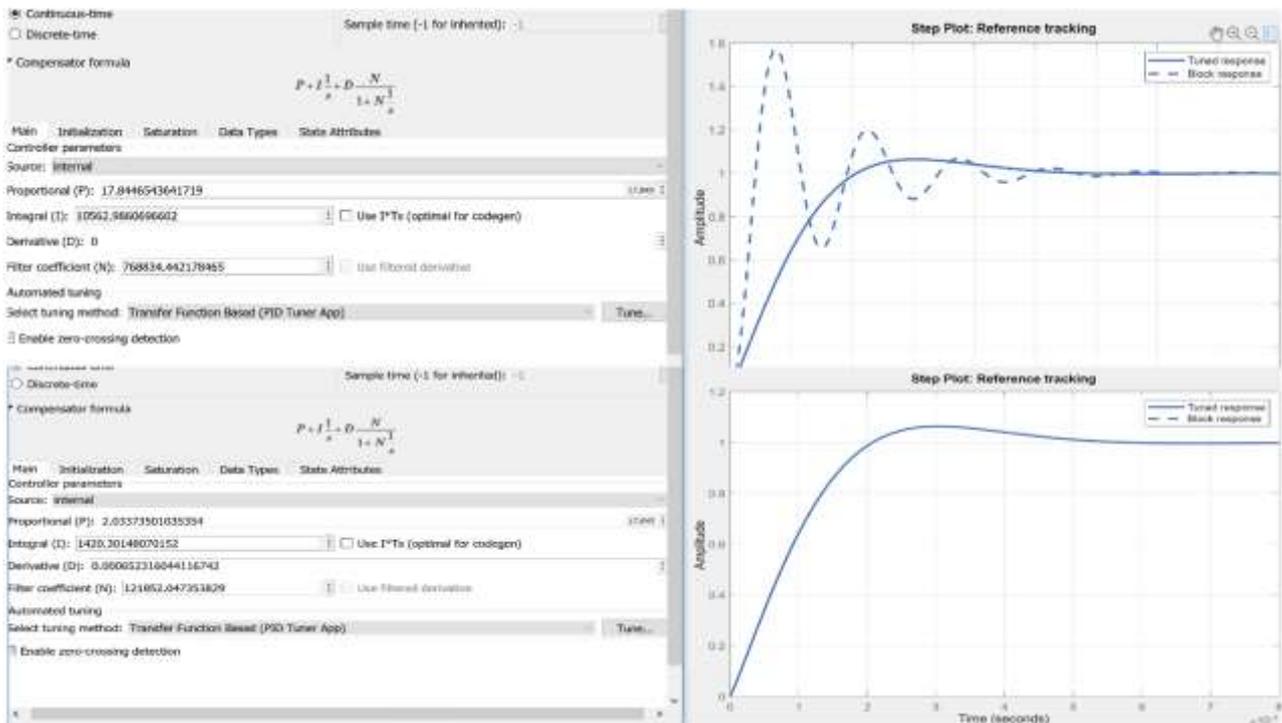


Рис. 4. Настройка ПИД-контроллера для управления звеньями манипулятора

Симуляция в программная среда для моделирования

Проведены симуляции поведения манипулятора в условиях, близких к реальным. В процессе моделирования проверена точность движения, время отклика и устойчивость системы, что позволило улучшить настройки контроллера.

Названия данные из рис. 5, (a) График желаемой траектории движения в пространстве X–Y, (b) Сравнение желаемой и фактической траекторий (ось X и ось Y), (c) Изменение траектории движения при корректировке ПИД-контроллера, (d) Прямая кинематика: сравнение желаемой и фактической траекторий для осей X и Y.

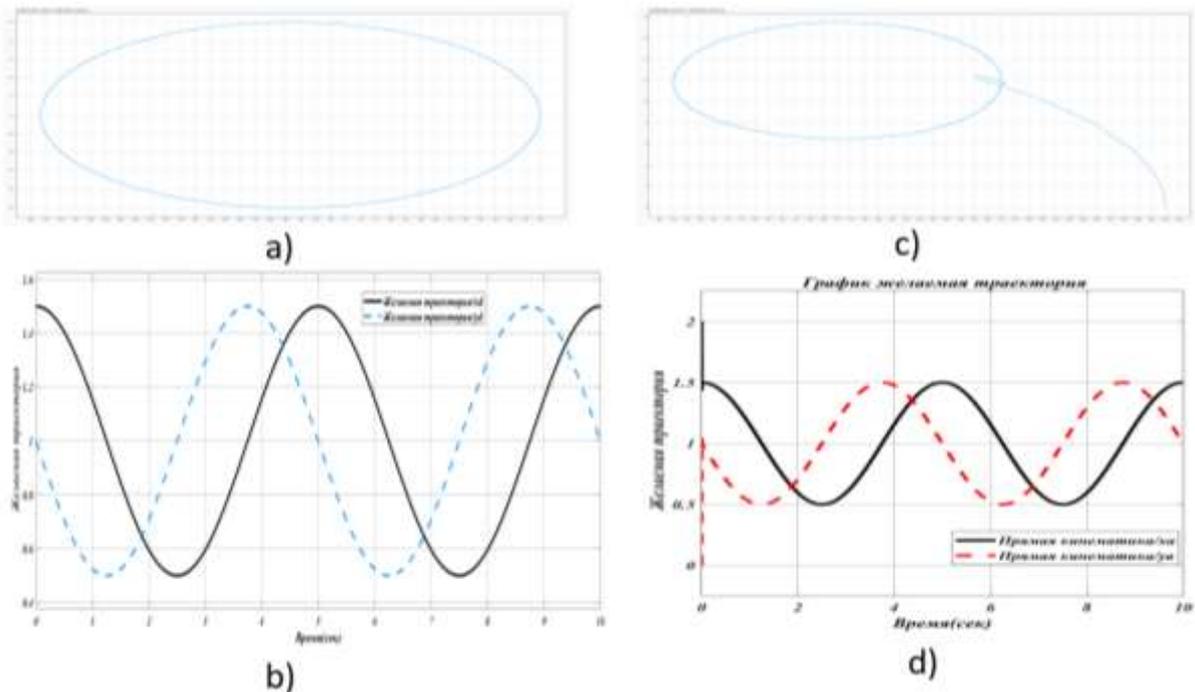


Рис. 5. Графики траекторий движения манипулятора в процессе моделирования

Практическая реализация на Dobot CR3

На текущем этапе проводятся симуляции работы роботизированного манипулятора Dobot CR3 для проверки корректности настроек ПИД-контроллера. Эти симуляции являются важным этапом перед практическим тестированием на реальном оборудовании. Кроме того, в процессе разработки находится программный файл для загрузки в Dobot CR3, а также пользовательский интерфейс [3–5] (GUI), который упростит управление манипулятором. Данная работа направлена на создание удобного инструмента, который позволит эффективно тестировать и внедрять алгоритмы управления в практические приложения.



Рис. 4. Симуляции работы роботизированного манипулятора Dobot CR3

Заключение

Работа по проектированию роботизированного манипулятора с использованием ПИД-контроля продемонстрировала возможности моделирования и управления сложными механическими системами. Моделирование в Simulink и Simscape позволило создать точную физическую модель манипулятора Dobot CR3, а настройка ПИД-контроллера обеспечила эффективное управление движением звеньев манипулятора.

Проведённые симуляции подтвердили корректность разработанных алгоритмов, что стало основой для дальнейшей работы над практической реализацией. В настоящее время осуществляется создание управляющих файлов и пользовательского интерфейса (GUI) для интеграции системы в реальные условия. Эти шаги направлены на достижение полной автоматизации процессов управления манипулятором Dobot CR3 и повышение точности выполнения его задач.

Список литературы

1. Джон Дж. Крейг. Введение в робототехнику: механика и управление: учебное пособие. – 4-е изд. – Москва: Pearson, 2020. – 400 с.
2. Сицилиано Б., Хатиб О. (ред.). Справочник по робототехнике. – 2-е изд. – Берлин: Springer, 2016. – 1624 с.
3. Добот. CR3 Промышленный манипулятор: техническая документация. – URL: <https://www.dobot.cc/products/cr3> (дата обращения: 16.11.2024).
4. MathWorks. Simscape Multibody: документация. – URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/index.html> (дата обращения: 16.11.2024).
5. ПИД-контроль для робототехнических систем: современные методы и приложения // IEEE Transactions on Robotics. – 2024. – № 5. – С. 35–47. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата обращения: 16.11.2024).

АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ НА СТЫКОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ БПЛА

Соболев В.С., Кустов А.С., Ковалевский Д.О.

Херсонский технический университет,

e-mail: sobolslava02@gmail.com

Ключевые слова: электромагнитный ответвитель, вихревые токи, рециркулятор, подводный беспилотник, беспроводная зарядка

Введение

Подводные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – это подводные мобильные системы, способные выполнять конкретные задачи. БПЛА имеют широкие перспективы применения как в военной, так и в гражданской сфере, и в целом БПЛА могут выполнять ряд задач и миссий, таких как исследование океана, научные исследования, мониторинг морской среды, сбор разведанных, наблюдение и оборона, силовое противостояние, противолодочная и минно-тральная деятельность, а также аварийно-спасательные работы.

Чтобы решить проблему недостаточного запаса хода автономных подводных аппаратов, подводные док-станции, размещённые на морском дне, могут осуществлять беспроводную зарядку автономных подводных аппаратов с помощью рециркуляторов. По сравнению с традиционной беспроводной зарядкой электромобилей, беспроводная зарядка на основе подводных док-станций имеет множество особых технических проблем, которые необходимо изучить и решить. Использование ретрансляторов стыковочной системы для беспроводной зарядки автономных подводных аппаратов может значительно увеличить время их использования, особенно при быстрой зарядке высокой мощности, что является существенным преимуществом с точки зрения экономии времени.

Материалы и исследования

После того как подводное транспортное средство будет захвачено приёмником на стыковочной станции, передающая катушка, закреплённая на стыковочной станции, приводится в действие высокочастотным переменным током, генерирующим переменное электромагнитное поле, с которым связана приёмная катушка, установленная на самом подводном транспортном средстве, индуцируя электрический потенциал для зарядки аккумулятора, таким образом осуществляя передачу энергии.

По сравнению с воздухом. Морская вода обладает высокой проводимостью и диэлектрической проницаемостью. Проводимость морской воды обычно составляет от 3 до 5 см/м, при этом стандартная морская вода имеет проводимость от 4,54 до 4,81 см/м при температуре 17 °С. При температуре 17 °С относительная диэлектрическая проницаемость низкочастотной морской воды составляет примерно 80,5 электромагнитные параметры док-станции для зарядки подводных аппаратов находится в сложной морской среде, и морская вода также имеет совершенно другие параметры: проницаемость сердечника благодаря высокочастотному электромагнитному полю; В-третьих, самоиндуктивность катушки системы беспроводной передачи энергии и другие присущие ей параметры при наличии среды с морской водой создают небольшой диапазон смещения; В-четвертых, на определенной глубине морская вода на ответвителе создает большое давление воды, ответвитель вихревые токи [1–3].

В результате среда с морской водой оказывает следующие четыре воздействия на беспроводную зарядку. система: Во-первых, поскольку стандартная диэлектрическая проницаемость морской воды примерно в 80,5 раз выше, чем у воздуха, между катушками ответвителя в морской воде создается значительная емкость; Во-вторых, при работе беспроводной системы передачи энергии создается высокочастотное электромагнитное поле, путь передачи и окружающая морская вода будут генерироваться из-за наличия давления и его изменения, то есть «магнитного эффекта давления».

Когда система IPT работает на подводной док-станции, магнитное поле создаёт вихревые токи в морской воде, и часть энергии расходуется на потери в вихревых токах, что снижает эффективность передачи энергии. В то же время магнитное поле, создаваемое вихревыми токами, и магнитное поле, создаваемое передающей катушкой, будут взаимодействовать друг с другом, поэтому, основываясь на модели трансформатора с вихревыми токами, можно приравнять морскую воду к кольцу вихревых токов с определённым внутренним сопротивлением. В качестве примера возьмём двустороннюю систему IPT типа LCC. На рис. 1 показана эквивалентная схема двусторонней системы IPT типа LCC с учётом потерь вихревых токов в морской воде.

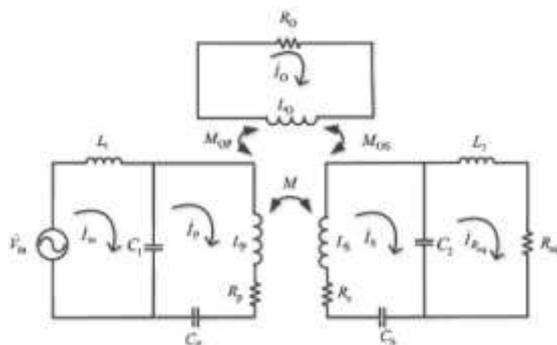


Рис. 1. Эквивалентная схема двусторонней системы LCC-IPT в морской воде

Поскольку влияние морской воды на параметры катушки фиксировано и не меняется в зависимости от режима работы цепи, первичную и вторичную стороны системы можно рассматривать по отдельности, а импеданс контура вихревых токов приравнивается к импедансу первичной и вторичной сторон соответственно в виде отражённого импеданса [3–5].

Для дальнейшего повышения общей производительности подводного электромагнитного соединителя предлагается новый тип подводного электромагнитного соединителя на основе существующих соединителей рис. 2.

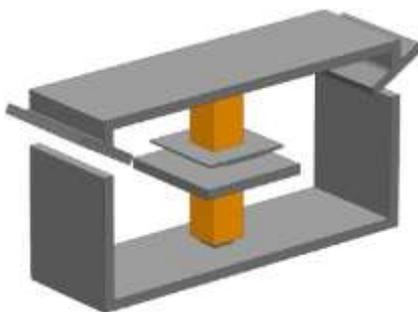


Рис. 2. Новый подводный электромагнитный ответвитель

В соединителе используется якорьобразный сердечник как на передающей, так и на принимающей сторонах, а обмотки намотаны на центральную колонку сердечника. Ширина центральной колонки сердечника на передающей стороне одинакова, с большей дугой в верхней части сердечника с обеих сторон; на принимающей стороне, напротив, в верхней части центральной колонки имеется большая дуга, а ширина сердечника с обеих сторон одинакова. Использование такого конструктивного подхода, дополняющего друг друга, гарантирует, что сопротивление воздушного зазора электромагнитного соединителя остается относительно стабильным при угловом и осевом смещении, что повышает устойчивость к смещению.

В этом типе соединения по мере увеличения угла смещения коэффициент связи k , взаимная индуктивность M , самоиндуктивность передающей катушки L_P и самоиндуктивности приемной катушки L_S всего постепенно становится меньше (L_S показывает нерегулярные и небольшие изменения в диапазоне дальности передачи 40 мм ~ 100 мм), что указывает на то, что

сцепляющая способность муфты постепенно ослабевает по мере увеличения угла смещения; при максимальном угле смещения 10° изменение k составляет 0,144 и изменение M это 6.57 μH , что указывает на то, что муфта обладает высокой устойчивостью к смещению под углом.

Заключение

Для решения проблемы потерь на вихревые токи в морской воде, вызванных высокочастотными электромагнитными полями, проанализированы преимущества и недостатки существующих методов расчёта потерь на вихревые токи. Для дальнейшего повышения уровня электромагнитных муфт предложен новый тип электромагнитной муфты, проанализированы конструктивные характеристики муфты, смоделированы и проверены основные параметры новой муфты. Результаты показывают, что новая электромагнитная муфта обладает высокой устойчивостью к прогибу.

Так же был проведен анализ влияния морской воды на беспроводную зарядку и рассмотрена эквивалентная схема для системы с учётом вихревых токов в морской воде и влияния ёмкости, подключённой параллельно.

Список литературы

1. Ин Ли. Проектирование ретронаправленных антенных решеток для беспроводной передачи энергии на короткие расстояния. – IEEE Trans Antennas and Propagation: 60. – 2012. – 206 с.
2. A Detection System with Spider Web Coil-Based Wireless Charging and an Active Battery Management System / J. Pokorny, P. Marcon, T. Kriz, J. Janousek // Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations. – 2021. – Vol. 64. – No. 3. – P. 219–227. – DOI 10.21122/1029-7448-2021-64-3-219-227. – EDN LXBOXE.
3. Лисов А.А. RFID идентификация как дополнение системы беспроводной зарядки электротранспортных средств / А. А. Лисов, С. А. Панишев // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2024. – Т. 10. – № 2. – С. 171–187. – DOI 10.17816/transsyst630045. – EDN EJKIFZ.
4. Дыбов Р.С. Метод электромагнитной индукции для беспроводной зарядки устройств / Р.С. Дыбов // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: Сборник научных статей II международной научной конференции, Волгоград, 19 февраля 2021 года. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2021. – С. 24–26. – EDN OXHOJB.
5. Калугин В.В. Беспроводное зарядное устройство для электромобилей / В.В. Калугин, Д.С. Желнин, И.В. Калугина // Школа Науки. – 2021. – № 12(49). – С. 9–10. – EDN LJKFPS.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА

Попрядухин В.С.¹, Курашкин С.Ф.², Ковалев А.В.³, Постникова М.В.⁴, Борохов И.В.⁵

¹*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,*

e-mail: vadim05051988@gmail.com

²*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,*

e-mail: serge.kuras@gmail.com

³*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,*

e-mail: alekstdaty1979@gmail.com

⁴*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,*

e-mail: postnikova070263@gmail.com

⁵*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,*

e-mail: mailto:bivdom@rambler.ru

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем: перед началом работы емкости, в которых готовились пробы промывались растворителем и просушивались на воздухе. В каждую из 5 емкостей заливали по 300 мл смесового топлива, состоящего из 30 мл МЭРМ и 270 мл дизельного топлива, 60 мл МЭРМ и 240 мл дизельного топлива, 90 мл МЭРМ и 210 мл дизельного топлива, 120 мл МЭРМ и 180 мл дизельного топлива и 150 мл МЭРМ и 150 мл дизельного топлива. Смеси перемешивали электрической лабораторной мешалкой в течение 2 минут.

Следующий этап включал в себя определение вязкости, плотности, прозрачности дизельного топлива, МЭРМ и приготовленных проб.

Для определения кинематической вязкости дизельного топлива, МЭРМ и их смесей применялся вискозиметр ВПЖ–4, в котором измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр определенного количества жидкости из измерительного резервуара.

Кинематическая вязкость дизельного топлива, МЭРМ и их смесей определялась по формуле [1]:

$$V = \frac{g}{980,7} \cdot t \cdot k, \quad (1)$$

где V – кинематическая вязкость, мм²/с; g – ускорение силы тяжести в месте измерения, м/с²; t – время вытекания через капилляр определенного количества жидкости, с; k – постоянная вискозиметра, мм²/с².

Согласно техническому паспорту на вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ–4 под № 1854, в котором диаметр капилляра составляет 0,62 мм, величина $k = 0,01052$.

Для определения кинематической вязкости вискозиметр промывали растворителем, просушивали и заливали в него контрольную пробу. Вискозиметр с жидкостью помещали в водяной термостат и термостатировали до температуры 20 °С в течение 15 мин. Плотность контрольной пробы определяли в ареометре. Для определения прозрачности дизельного топлива, МЭРМ и приготовленных смесевых проб использовался фотокалориметр КФК–2. В одну из кювет заливали дизельное топливо и определяли его прозрачность в процентах. Во вторую кювету заливали МЭРМ и приготовленные пробы и поочередно проводили измерение прозрачности жидкости в % относительно дизельного топлива с трехкратной повторностью.

Кинематическая вязкость является одной из важнейших характеристик дизельного топлива. Нами были произведены измерение кинематической вязкости дизельного топлива марки Л–0,2–62 и МЭРМ при температуре 20 °С с пятикратной повторностью в опытной точке, а также с трехкратной повторностью всего эксперимента с помощью вискозиметра и плотности – ареометром. При проведении эксперимента измерения рондоминизировались.

Так средняя вязкость в ДТ марки Л–0,2–62 составила 4,301 мм²/с, а у МЭРМ – 11,630 мм²/с. Средняя плотность ДТ составила 841 кг/м³, а в МЭРМ – 896 кг/м³. Затем были измерены вязкость, плотность и прозрачность в приготовленных пробах, которые представлены в таблице 1

Таблица 1

Измерение вязкости, плотности и прозрачности в смесевых пробах

Название и состав	10 % МЭРМ + + 90 % ДТ	20 % МЭРМ + + 80 % ДТ	30 % МЭРМ + + 70 % ДТ	40 % МЭРМ + + 60 % ДТ	50 % МЭРМ + + 50 % ДТ
Вязкость, мм ² /с;	4,664	5,047	5, 587	6,392	7,004
Плотность, кг/м ³	841	846	852	859	863
Прозрачность, %	90,5	91,0	91,5	92,0	92,5

Материалы данной статьи были использованы при проведение научно-исследовательской работы по теме: «Разработка электротехнологий и технических средств для получения смесового биотоплива и восстановления трансформаторного масла (FRRS-2023-0017)»

Список литературы

1. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: дис. канд. тех. наук: 05.20.01. – М., 2010. – 177 с.
2. Громаков А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 24–25.
3. Топливо дизельное ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс K5 марки ДТ-Е-K5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11Л2310877. Технические условия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА

Попрядухин В.С.¹, Кушлык Р.В.², Минаева Т.С.³

*¹ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: vadim05051988@gmail.com*

*²ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, доцент,
e-mail: kushlykroman@gmail.com*

*³ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», технический факультет,
кафедра электротехники и электромеханики, старший преподаватель,
e-mail: tanita19061985@gmail.com*

На сегодняшний день наиболее эффективным способом производства биодизеля для дизельных моторов является технология, основанная на переэтерификации (или алкоголизе) растительных масел и жиров с использованием метанола в присутствии щелочных катализаторов. В процессе этого превращения образуются метиловые эфиры растительных масел, которые получают название биодизель и обладают свойствами, сопоставимыми с современным дизельным топливом ДТ [1].

Сравнивая смешанное биотопливо и традиционное дизельное топливо для автотранспортной техники, можно отметить, что биотопливо МЭРМ обладает рядом преимуществ: оно не источает бензиновый запах благодаря тому, что производится из растительных масел. Это топливо характеризуется высоким циановым числом и является экологически безопасным. Кроме того, оно способствует снижению выбросов углекислого газа, а в выхлопах наблюдается уменьшенное содержание угарного газа, несгораемых углеводородов, оксидов азота, остаточных частиц и сажи, а также существенно меньше серы и высокая температура воспламенения.

Сравнивая с традиционным биотопливом, биодизель из рапсового масла имеет и свои недостатки: низкую теплоту сгорания и растворяющие свойства, что приводит к более быстрому разрушению резиносодержащих элементов в топливной системе и двигателе при использовании МЭРМ. Также следует учитывать высокую температуру помутнения и значительное содержание глицерина, которое может привести к образованию нагара и сажи [3].

Таким образом, разработка современных комплексных технологий для производства и очистки смешанных биотоплив с улучшенными свойствами, предназначенных для агрегатов на дизельном топливе, представляет собой важную и актуальную научную задачу [2].

Для исследования было выбрано товарное минеральное дизельное топливо ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс К5 марки ДТ-Е-К5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11Л2310877 и биодизель «Светлый» (В100) ГОСТ 31665-2012.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка для исследования биотопливных композиций.



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования вязкости и плотности дизельного топлива, МЭРМ и смесового биотоплива различных концентраций:

- 1 – Гомогенизатор ГЛП-500 «САМИКС»;
2 – Пробирки со смесевым биотопливом в пропорциях 10 %, 20 %, 30 %, 40 % и 50 % биотоплива В-100 в дизельном топливе ДТ-Е-К5;
3 – Вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-4, диаметром капилляра 0,62 мм; 4 – Миксер;
5 – Ареометр АОН-4, от 700 до 1000 кг/м³, ГОСТ 18481-81; 6 – СВЧ установка Samsung;
7 – Гомогенизатор проб лопаточный ГЛ-П-300 5000/10000;
8 – Колбы со смесевым биотопливом в пропорциях 10 %, 20 %, 30 %, 40 % и 50 % биотоплива В-100 в дизельном топливе ДТ-Е-К5; 9 – Ноутбук ASUS Vivobook; 10 – Термостат жидкостный MLW UN8;
11 – Пьезоэлектрическая колебательная система в металлическом корпусе;
12 – Аппарат ультразвуковой проточный серии ВОЛНА-П, модель УЗАП-0,4/22-ОП

Анализ результатов исследований показывает, что с увеличением концентрации МЭРМ в ДТ вязкость увеличилась с 4,04 мм²/с до 7,17 мм²/с, а плотность с 825 кг/м³ до 860 кг/м³.

Недостатком практически всех существующих технологий приготовления смесового биотоплива является использование недостаточно очищенных МЭРМ, что приводит к существенному увеличению вязкости топлива.

Материалы данной статьи были использованы при проведении научно-исследовательской работы по теме: «Разработка электротехнологий и технических средств для получения смесового биотоплива и восстановления трансформаторного масла (FRRS-2023-0017)».

Список литературы

1. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: дис. канд. тех. наук: 05.20.01. – М., 2010. – 177 с.
2. Громаков А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 24–25.
3. Топливо дизельное ЕВРО, межсезонное, сорта F, экологический класс К5 марки ДТ-Е-К5 ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Паспорт № 11Л2310877. Технические условия.

ИЗОЛЯЦИЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕЗГАЛОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Душкин Ю.В.^{1,2}, М.Д. Жульмина², Леонов А.П.²

¹АО «СПО «Арктика», г. Северодвинск;

²НИ Томский политехнический университет, г. Томск;
e-mail: mdz1@tpu.ru

Судовые кабели, являясь неотъемлемой составляющей любых систем передачи электрической энергии и сигналов, занимают важнейшее место в электроэнергетической системе кораблей. От надежности кабельных сетей и их работоспособности в аварийных ситуациях, таких, как затопление или пожар, напрямую зависит возможность выполнения поставленных задач и обеспечения безопасности личного состава на кораблях и подводных лодках. Также именно ресурсные показатели кабельных изделий во многом определяют продолжительность и стоимость жизненного цикла современных кораблей.

На основе анализа назначения и условий эксплуатации кабельных изделий необходимо, чтобы современные судовые кабели отвечали следующим требованиям:

- высокая пожаробезопасность, в том числе нераспространение горения при групповой прокладке (категория А по ГОСТ 31565–2012), пониженное дымообразование при горении и тлении (показатель ПД1), отсутствие галогенов в продуктах дымогазовыделения при горении и тлении (показатель ПКА1), пониженная токсичность продуктов горения (показатель ПТПМ2);
- увеличенный срок службы (не менее 40 лет);
- повышенная устойчивость к изгибающим нагрузкам и осевым кручениям;
- стойкость к внешним воздействующим факторам: разогретым маслам или парам масел, дизельному топливу, агрессивным средам (раствор щавелевой кислоты, окиси азота, серной кислоты и др.);
- стойкость к гидростатическому давлению в продольном (до 15 МПа) и радиальном (до 120 МПа) направлениях;
- сохранение работоспособности при воздействии открытого пламени (предел огнестойкости ПО1 по ГОСТ 31565–2012).

Разработка конструкторско-технологических решений и выбор материалов, обеспечивающих безотказность работы кабелей в течение всего срока эксплуатации, позволяют реализовать вышеуказанные требования.

В зависимости от места прокладки на корабле судовые кабели подразделяются на герметизированные и негерметизированные. Поскольку при повреждении негерметизированного кабеля по его конструкции распространяется вода, для повышения живучести подводного судна широко применяются герметизированные кабели.

Однако представленные на отечественном рынке традиционные, разработанные более 30 лет назад судовые герметизированные кабели (по типу КВДН, СМПВГ, КРНГ и др.) уже не соответствуют всем требованиям мировых стандартов кораблестроения. Также тот факт, что в конструкциях современных судовых кабелей используются импортные компаунды, создает ряд проблем при их серийном выпуске.

В связи с этим стоит актуальная задача создания конкурентоспособных кабельных изделий. В настоящее время отечественными производителями ведется разработка безгалогенных материалов для судовых кабелей. В ходе работы было разработано и апробировано более 20 рецептур новых материалов в соответствии с техническими требованиями. Для оценки качества созданы макетные образцы по типу судовых кабелей СМПВГ и КВДН, в которых для изоляции и оболочки использована безгалогенная полимерная композиция или из термоэластопласт (ТЭП).

На макетных образцах проведены испытания на соответствие современным требованиям по электрическим и механическим параметрам; требованиям к пожарной безопасности по ГОСТ 31565 (в том числе нераспространение горения в условиях прокладки в пучках по категории «А»); испытания на длительное воздействие высоких (до 100°C) и низких температур (минус 50 °C) среды, повышенной влажности воздуха, морской воды, солнечного излучения, раствора щавелевой кислоты, дизельного топлива и индустриального масла, продольного и радиального гидростатического давления; проверки целостности герметика при вертикальной прокладке.

Полученные результаты испытаний показали, что российские безгалогенные материалы являются конкурентоспособной заменой как устаревших материалов серийно-изготавливаемых судовых кабелей, так и зарубежных аналогов. Кабели, производимые на отечественных БГ и ТЭП, отвечают современным требованиям пожарной безопасности, имеют более высокое значение нагревостойкости, повышенную устойчивость к механическим изгибам, а также стойкость к продольному (15 МПа) и радиальному (65 МПа) гидростатическому давлению. ТЭП выступает более эластичным материалом, чем БГ, что является преимуществом при прокладке и монтаже кабелей.

Таким образом, применение российских безгалогенных полимерных материалов в качестве изоляции и оболочки судовых кабелей является перспективным решением для развития корабельной техники и судостроительной промышленности в целом. Необходима сертификация новых материалов и внедрение их в производство.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Журиков Р.Н.¹, Невмывака А.Н.²

¹Томск, НИ Томский политехнический университет;

Инженерная школа энергетики, гр. 3-А1-27,

e-mail: rnz4@tpu.ru

²Северодвинск, АО «СПО «Арктика»

Согласно отраслевым стандартам в области надежности высоковольтных кабелей, применяется метод статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий путем испытаний в форсированных условиях и режимах (прямой способ подтверждения надежности). При этом надежность представляет собой комплексное свойство, включающее безотказность, долговечность и сохраняемость. Для кабельных изделий одним из главных показателей надежности выступают безотказность и долговечность [1, 2].

Наработка до отказа изделий, предназначенных для работы в режиме непрерывного или периодического воздействия импульсного или переменного напряжения, подтверждаемая прямым способом, определяется проведением испытаний на подтверждение способности кабельного изделия непрерывно выполнять требуемые функции в течение некоторого времени в заданных режимах и условиях применения.

Согласно нормативным требованиям (например, ОСТ 16.800.438–77), минимальная наработка до отказа высоковольтных кабельных изделий подтверждается при трех значениях длительного прилагаемого испытательного электрического напряжения, превышающего номинальное рабочее напряжение на значения повышающих коэффициентов, устанавливаемых как правило в технических условиях на изделия [3]. Для каждого значения испытательного электрического напряжения комплектуются выборки по десять образцов в каждой. Все образцы испытываются при максимальной температуре при эксплуатации до пробоя изоляции. В пределах каждой выборки образцы нумеруются в порядке возрастания времени воздействия электрического напряжения до пробоя изоляции. Полученные результаты отображаются на графике в системе координат в логарифмическом масштабе. Значения подтвержденной наработки до отказа устанавливается посредством экстраполяции полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений.

Необходимо отметить, что при проведении ряда измерений одной и той же величины неизбежен некоторый разброс значений. При этом могут встретиться измерения с так называемыми «грубыми» ошибками, являющимися результатом естественного статистического отклонения. Их включение в результаты измерений может приводить к нарушению достоверности всей серии измерений.

Для исключения «грубых» ошибок применяют способ, основанный на «правиле трех сигм», которое определяет, что вероятность появления значения, отклоняющегося от среднего арифметического более чем на три значения эмпирического стандарта, равна 0,003, и поэтому результаты, вероятность получения которых меньше 0,003, допустимо считать «промахами» [4, 5].

С целью первичного определения оценки результатов испытаний на наличие значений с большими случайными ошибками может быть использован метод корреляционного анализа, который изучает поведение каждой из величин в зависимости от значений другой величины, а также меру зависимости между рассматриваемыми величинами. Сопоставляя каждому значению одной величины среднее из соответствующих значений другой величины, получают функцию эмпирической регрессии.

Корреляция между величинами называется линейной, если обе функции регрессии линейны. Угловые коэффициенты прямых выражаются через коэффициент корреляции (ρ).

Отсутствие линейной зависимости означает равенство коэффициента корреляции нулю. Чем ближе коэффициент к 1, тем теснее линейная зависимость между величинами, т. е. тем меньше средняя квадратическая ошибка представления каждой из величин с помощью линейной функции другой величины. Таким образом, значение коэффициента корреляции служит также мерой (критерием оценки) линейной зависимости между величинами [6].

Основные выводы по работе:

- долговечность высоковольтных кабелей, подтверждаемая при трех значениях длительного прикладываемого испытательного электрического напряжения до пробоя, превышающего номинальное рабочее напряжение, с последующей экстраполяцией полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений, с необходимой точностью определяется статистически адекватной графической интерполяцией полученных результатов испытаний;

- построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки без исключения «грубых» ошибок может нарушать достоверность подтверждения способности кабельного непрерывно сохранять работоспособное состояние в заданных режимах и условиях использования, до достижения предельного состояния в течение минимальной наработки, заданной в технических условиях на изделие;

- при первичном анализе результатов испытаний наличие значений с большими случайными ошибками подтверждается при величине эмпирического коэффициента корреляции менее 0,9; при этом построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки должно выполняться при условии обязательного исключения «грубых» ошибок.

Список литературы

1. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. – М.: издательство «Наука». – 1971 г. – 192 с.
2. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике надежность объекта. Термины и определения. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. – 35 с.
3. ОСТ 16 0.800.305–84 Отраслевой стандарт. Кабели провода и шнуры. Общие технические требования по надёжности. Методы оценки соответствия требованиям надёжности.
4. ОСТ 16 0.800.438–84 Отраслевой стандарт. Провода высоковольтные монтажные. Общие технические условия.
5. Харьков О.А., Соловьев А.Г. Статистические методы и математическое моделирование: учебное пособие. – М: изд-во СГМУ. – 2017 г. – 164 с.
6. Цыбрий И.К., Мороз К.А., Игнатенко В.И., Вяликов И.Л. Статистическая обработка результатов измерений, издательство «Ростов-на-Дону», ДГТУ, 2021 г., 129 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Филипас А.А.¹, Пластунова С.Н.²

¹НИ ТПУ, ИШИТР, доцент ВАК,

e-mail: filipas@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШИТР, аспирант,

e-mail: snp4@tpu.ru

При прогнозировании энергетических показателей движителей мобильных роботов при движении по заданной траектории по разным типам поверхностей с учетом неизменности траектории, типов движителей и их режимов работы, топологии робота выполняемая им полезная работа теоретически может быть рассчитана как:

$$A_{\text{теор}} = F \cdot S, \quad (1)$$

где F – сила, затраченная на преодоление пути роботом, а S – путь, который необходимо преодолеть.

В виду вязкости, коэффициента трения и других характеристик поверхности перемещение робота на отдельных участках траектории может быть затруднено, и фактически выполненная роботом работа отличается от рассчитанной по формуле (1). Она зависит от трудоемкости перемещения робота, иными словами, от электрической мощности движителей робота и может быть вычислена по формуле:

$$A_{\text{факт}} = U \cdot I \cdot t, \quad (2)$$

где U – напряжение движителя, I – ток движителя, затрачиваемые на преодоление пути.

Тогда отношение теоретической работы к практической будет представлять из себя коэффициент, который будет характеризовать поверхность, по которой выполняет передвижение робот. Знание данного коэффициента поверхности позволяет выполнять прогноз энергетических затрат робота и времени прибытия в конечную точку с большей точностью. Изменение коэффициента поверхности в процессе работы влечет за собой перегрев механических и электрических частей движителей робота, что увеличивает их износ. Для решения данной проблемы следует поддерживать на уровне номинального значения мощность движителей, что позволит эффективно использовать энергетические ресурсы мобильного робота и избежать быстрого выхода из строя его частей.

Выделяют два режима работы движителей, приведенные на рис. 1: первая зона регулирования характеризуется постоянством момента при увеличении потребляемой мощности, и соответственно скорости до номинальных значений. Эта зона – наиболее широко применима различного рода системах. Здесь выполняются оптимальные критерии для электрической и механической частей электропривода: минимальный износ электродвигателя, допустимый нагрев обмоток двигателя, оптимальные значения токов в силовой части привода и т. д.

Вторая зона – зона поддержания постоянной мощности. В ней для увеличения скорости выше номинальной следует соблюдать пропорции тока и напряжения питания для сохранения номинального значения мощности, значит, при увеличении скорости поддерживаемая приводом нагрузка уменьшается при этом в нелинейной зависимости [1].

Вторая зона регулирования скоростью применяется в двух случаях:

1. Увеличение скорости двигателя при уменьшении нагрузки на его валу, что позволяет уменьшить время выполнения технологического процесса и позволяет эффективно использовать ресурсы электропривода.

2. Увеличение нагрузки на валу двигателя при уменьшении скорости двигателя, что позволяет защитить от перегревов обмотки двигателя и силовую часть системы управления при переменных нагрузках.

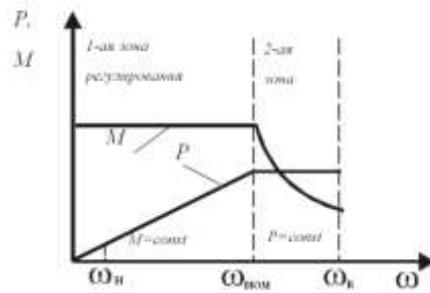


Рис. 1. Зоны регулирования ЭП

Для решения задачи перемещения мобильного робота применим режим сохранения мощности как с целью защиты частей робота от перегрева, так и для эффективного использования мощности входящих в него двигателей. Каждый движитель робота состоит из электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) и вращаемого им колеса. Система управления, СДПМ реализована с использованием векторного управления, состоящего из двух регуляторов тока и регулятора скорости.

Данная система управления отличается от системы управления асинхронным двигателем отсутствием задания в ось потокосцепления. Эта особенность обусловлена наличием постоянных магнитов, которые создают постоянный магнитный поток.

Математическое моделирование векторной системы управления СДПМ выполнено в MatlabSimulink. Результат моделирования системы управления СДПМ приведен на рис. 2 [2].

А также реализована система управления на преобразователе частоты мощностью 7 кВт. Результат приведен на рис. 3.

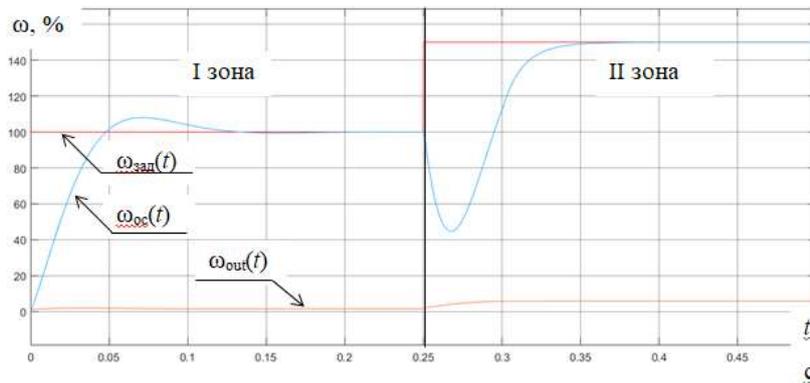


Рис. 2. Переходные процессы разгона СДПМ до ω_n и $1,5 \cdot \omega_n$ в Matlab Simulink

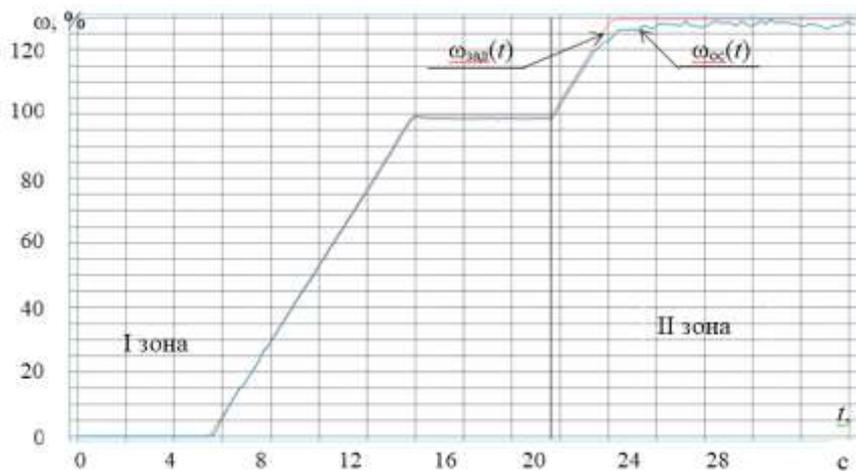


Рис. 3. Переходные процессы разгона СДПМ до ω_n и $1,5 \cdot \omega_n$ на двигателе МВЭДВ 5,5 кВт

При разгоне СДПМ до номинальной скорости регулирование осуществляется в первой зоне работы. При повышении задания скорости выше 100 % от ω_n происходит бесконтрольный рост тока двигателя до номинального значения, однако двигатель не выходит на заданную скорость. Для дальнейшего увеличения скорости следует ослабить поле постоянных магнитов, чего можно добиться вводом задания по току в ось потокосцепления двигателя [3].

Таким образом, применение двухзонного регулирования двигателями мобильного робота на основе СДПМ позволит оптимально регулировать скорость движения мобильного робота в зависимости от типа поверхности, оказывающей нагрузку на движители, сохраняя постоянной мощность двигателя. Результаты математического моделирования системы управления СДПМ и реального управления двигателем аналогичны. Максимальная возможная скорость привода индивидуальна для каждого случая и ограничена механической прочностью конструкции.

Список литературы

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
2. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие для вузов / А.С. Глазырин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ. – 2011. – 205 с.: ил. – Библиогр.: с. 194.
3. Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; ТПУ, ИДО. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 53. с.

СЕКЦИЯ 3
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ МНОГОГРАННЫМИ РЕЗЦАМИ

Гопанцов Д.Н.¹, Бинчуров А.С.², Гордеев Ю.И.², Колбасина Н.А.²

¹Место учебы, Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,

e-mail: Gopancov2001@gmail.com

²Место работы, Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, доцент каф. КТОМСП

e-mail: mexanixs@mail.ru

В качестве основного критерия оптимальности при ротационном точении многогранными резцами (РТМР) принимают, как правило, основное технологическое время обработки, которое должно быть минимальным. При этом, с учетом известных физических связей между отдельными параметрами режимов, заданных ограничений, определяемых технологическим оборудованием, требованиями к точности обработки проводилась оптимизация режимов резания. В процессе оптимизации необходимо перенести все неотрицательные значения переменных, которые будут удовлетворять условиям, при которых параметр достигает минимума и максимума (метод линейного программирования).

Для проведения оптимизационных исследований по критерию повышения производительности основное технологическое время $T_0 = L/ns$ задается минимальным, необходимо чтобы произведение частоты вращения и подачи резца на оборот заготовки ns было максимальным при неизменной длине обработки. Поэтому в качестве оценочной функции может быть принята функция $f = nst = \max$. Однако, как установлено в проводимых ранее исследованиях [1, 2], глубина резания не оказывает существенного влияния на качество обработанной поверхности, но влияет на температурно-силовые характеристики.

При решении задачи с помощью программы [3] прежде всего определяют координаты x_1 ; и x_2 . всех точек пересечения прямых по формулам для корней системы уравнений. Далее выясняется, какие из значений x_1 , и x_2 удовлетворяют всем уравнениям ограничений системы. В заключение определяют координаты вершины многоугольника, у которых сумма имеет максимальную величину:

Для того чтобы систему ограничений и оценочную функцию привести к линейной форме, прологарифмируем полученные выражения, предварительно умножив для удобства вычисления подачу на 100.

Обозначив $\ln(n) = x_1$ и $\ln(100s) = x_2$, а ограничения b_i , полученные из однофакторных и многофакторных экспериментов с соответствующими индексами [1, 2], сформулируем математическую модель оптимальных режимов резания:

Ограничения по оборудованию: подача $1,2 \text{ мм/об} \geq s \geq 0,1 \text{ мм/об}$, обороты $1000 \text{ об/мин} \geq n \geq 0 \text{ об/мин}$. Необходимо обеспечить обработку изделия с качеством обработки $3,2 \text{ мкм} \geq Ra \geq 1,25 \text{ мкм}$, и сохранять температуру в точке резания $120 \text{ °C} \geq T \geq 21 \text{ °C}$. Сила, допускаемая более слабым звеном механизма подачи станка, равна 1000 Н.

Взаимосвязи были установлены при проведении однофакторных и многофакторных экспериментов. По результатам обработки экспериментальных данных были получены следующие полуэмпирические зависимости.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 6,908 = \ln(n_{max}) = b_1 \geq x_1 \geq b_2 = \ln(n_{min}) \rightarrow -\infty \\
 4,787 = \ln(100 \cdot s_{max}) = b_3 \geq x_2 \geq b_4 = \ln(100 \cdot s_{min}) = 2,303 \\
 3,11 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{Ra_{max}}{0,694}\right)^{\frac{1}{0,468}}\right) = b_5 \geq x_1 \geq b_6 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{Ra_{min}}{0,694}\right)^{\frac{1}{0,468}}\right) = 5,119 \\
 6,097 = \ln\left(100 \left(\frac{Ra_{max}}{2,139}\right)^{\frac{1}{0,27}}\right) = b_7 \geq x_2 \geq b_8 = \ln\left(100 \left(\frac{Ra_{min}}{2,139}\right)^{\frac{1}{0,27}}\right) = 2,616 \\
 21,295 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{\theta_{max}}{43,155}\right)^{\frac{1}{0,052}}\right) = b_9 \geq x_1 \geq b_{10} = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{\theta_{min}}{43,155}\right)^{\frac{1}{0,052}}\right) = -12,154 \\
 9,796 = \ln\left(100 \left(\frac{\theta_{max}}{58,633}\right)^{\frac{1}{0,138}}\right) = b_{11} \geq x_2 \geq b_{12} = \ln\left(100 \left(\frac{\theta_{min}}{58,633}\right)^{\frac{1}{0,138}}\right) = -2,837 \\
 7,484 = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{P_{zmax}}{102,345}\right)^{\frac{1}{0,405}}\right) = b_{13} \geq x_1 \geq b_{14} = \ln\left(\frac{1000}{\pi D} \left(\frac{P_{zmin}}{102,345}\right)^{\frac{1}{0,405}}\right) \rightarrow -\infty \\
 7,641 = \ln\left(100 \left(\frac{P_{zmax}}{629,833}\right)^{\frac{1}{0,152}}\right) = b_{15} \geq x_2 \geq b_{16} = \ln\left(100 \left(\frac{P_{zmin}}{629,833}\right)^{\frac{1}{0,152}}\right) \rightarrow -\infty \\
 3,396 = b_{17} \geq 0,468x_1 + 0,27x_2 \geq b_{18} = 2,455 \\
 1,688 = b_{19} \geq 0,052x_1 + 0,138x_2 \geq b_{20} = -0,055 \\
 3,306 = b_{21} \geq 0,405x_1 + 0,152x_2 \geq b_{21} = -3,306
 \end{array} \right. \quad (1)$$

Замыкающий контур для x_1, x_2 приведен на рис. 1, координаты точек граней представлены в табл. 1, Точкой максимума является точка В, точкой минимума является точка Е.

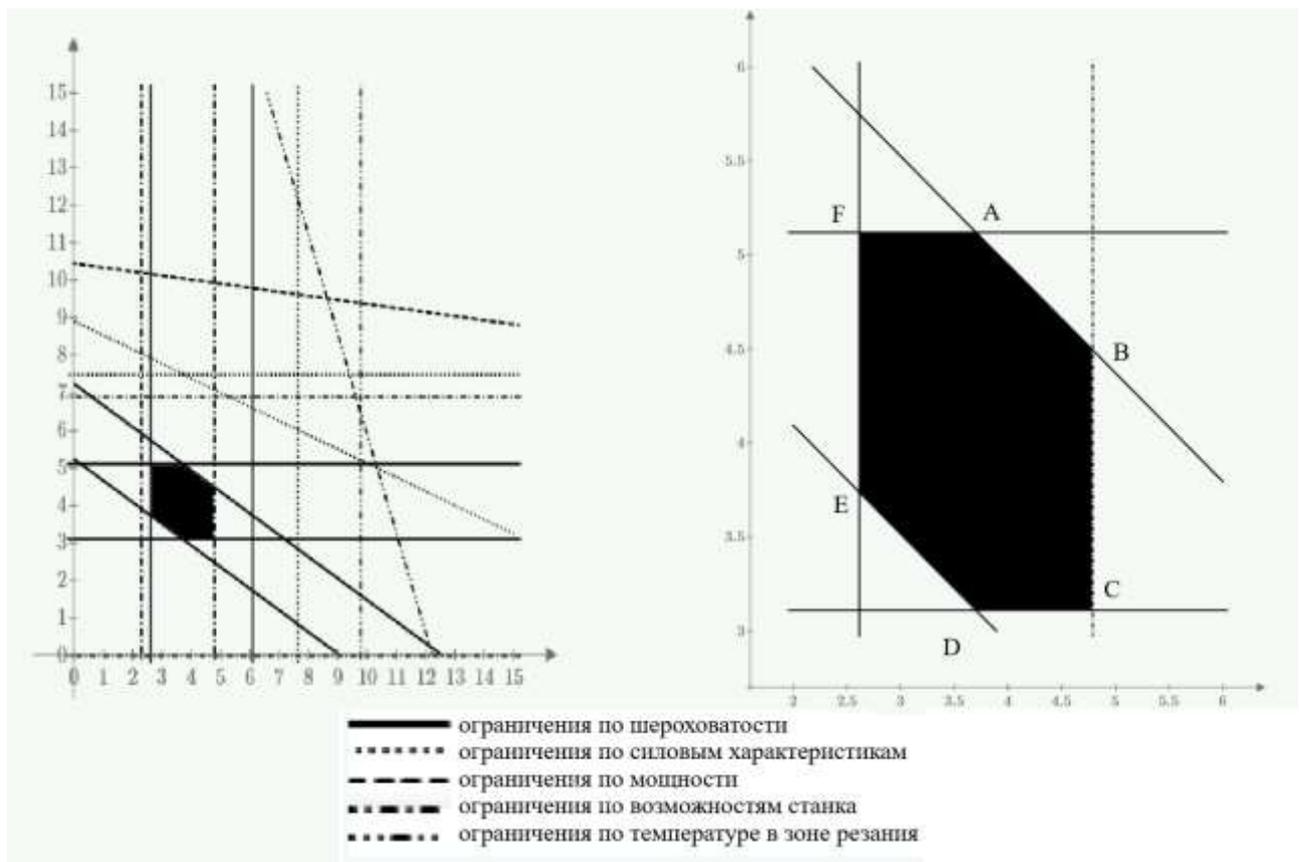


Рис. 4. Замыкающий контур

В итоге оптимальное решение по критерию производительности при РТМР можно описать в виде системы для замыкающего контура.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \geq s \geq 0,406 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \\ 167,09 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \geq n \geq 22,412 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ 0,01 \cdot e^{\frac{3,396-0,468 \cdot \ln(n)}{0,27}} \geq s \geq 0,01 \cdot e^{\frac{2,455-0,468 \cdot \ln(n)}{0,27}} \end{array} \right. \quad (2)$$

Таблица 1

Точки замыкающего контура

точка	A	B	C	D	E	F
x_1	5,119	4,493	3,11	3,11	3,738	5,119
x_2	3,704	4,787	4,787	3,704	2,616	2,616
$n = e^{x_1}, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	167,09	88,419	22,412	22,412	41,999	167,09
$s = 0,01e^{x_2},$ мм/об	0,406	1,2	1,2	0,406	0,137	0,137
		max			min	

На основании анализа определена зона оптимальных (рациональных) решений, были выбраны уровни варьирования независимых переменных для дальнейших экспериментальных исследований по плану ПФЭ (полнофакторный эксперимент).

Список литературы

1. Индаков Н.С., Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И. Влияние кинематических и технологических параметров ротационного точения многогранными резцами на формирование стружки и шероховатость поверхности // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 379–386.
2. Бинчуров А.С., Гордеев Ю.И., Ясинский В.Б. Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74–79.
3. Свид. 2024613532 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Автоматизированный расчёт шероховатости поверхности в зависимости от технологических параметров обрабатываемой детали и режимов резания при ротационном точении многогранными резцами / А.С. Бинчуров, Ю.И. Гордеев, Д.Н. Гопанцов; заявитель и правообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (RU). – № 2024613532; заявл. 14.02.2024; опубл. 14.02.2024, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 316L

*Рюмин Е.Е., Криницын М.Г., Торонков Н.Е., Лернер М.И.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
e-mail: ryuminee@ispms.ru*

Аддитивное производство (АП) – процесс изготовления деталей, основанный на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала «слой за слоем». Первые аддитивные системы производства работали главным образом с полимерными материалами, но на сегодняшний день номенклатура используемых материалов значительно увеличилась (композитные порошки с различными типами металлов и керамикой).

В настоящее время, разработаны десятки технологий АП, но одним из перспективных направлений является экструзионная аддитивная технология.

Следует помнить, что при печати изделий из металла, оператор неизбежно столкнется с выбором значений параметров печати. Этот выбор напрямую отражается на механические характеристики готового изделия, поэтому одним из важнейших параметров такого изделия, является его плотность. Поскольку технология 3D-печати подразумевает послойное выкладывание материала, между линиями заполнения неизбежно появляются несплошности, рис. 1. Целью данного исследования является уменьшение таких дефектов, путем подбора параметров печати.



Рис. 1. Микрофотография разлома изделия

Существует ряд эмпирических подходов к определению оптимальных параметров экструзионной печати. В основном параметры задаются в специализированном ПО – слайсере. В настоящей работе использовался наиболее современный на сегодняшний момент слайсер – OrcaSlicer, который позволяет провести ряд калибровочных сеансов печати, позволяющих выявить и оптимизировать параметры печати [1]. В работе рассматривался материал для экструзионной печати на основе стали 316L [2, 3].

В данной работе были выбраны базовые параметры печати, такие как: температура печати, процент перекрытия, обдув модели, ширина экструзии и тип рисунка сплошного заполнения, табл. 1. Значения базовых параметров были определены путем подбора – критерием служило визуальное качество, отсутствие трещин и несплошностей.

Таблица 1

Базовые параметры печати

<i>Параметр</i>	<i>Базовое значение</i>
Температура печати, °С	140
Перекрытие, %	35
Обдув модели	Да
Ширина экструзии, мм	0,5
Тип рисунка заполнения	Монотонный

Чтобы проверить влияние параметров печати на механические характеристики были произведены испытания на изгиб (рис. 2) распечатанных образцов с последовательной сменой парамет-

ров (табл. 2), а также эксперимент по выявлению зависимости объемного потока от температуры печати, по результатам которых, стало понятно, что необходимы дополнительные реологические исследования, которые помогут определить оптимальные температуру и скорость печати.

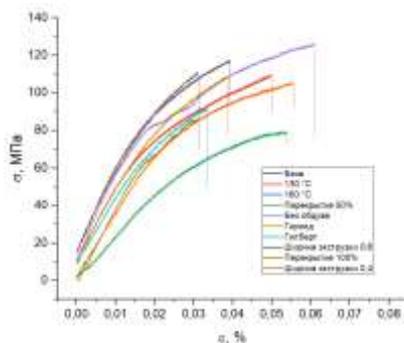


Рис. 2. Кривые нагружения образцов при испытании на изгиб

Таблица 2

Изменение базовых параметров

Параметр	–	+
Температура печати, °С	130	160
Перекрытие, %	50	100
Обдув модели	Нет	
Ширина экструзии, мм	0,6	0,4
Тип рисунка заполнения	Гирийд	Кривая Гильберта

Проведенное исследование по выявлению зависимости объемного потока от температуры печати (рис. 3), показало, что:

- от 140 °С до 160 °С значения объемного потока Q выходят на плато, после чего, происходит его снижение. Это связано с деструкцией полимера из-за высокой температуры;
- расчетная скорость сдвига находится в пределах 200 1/с;
- необходимы дополнительные исследования реологии.

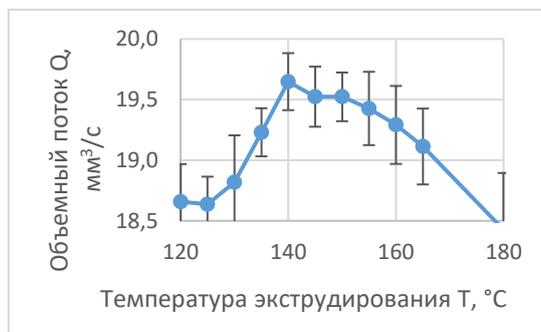


Рис. 3. График зависимости температуры экструдирования от объемного потока

Работа выполнена по Государственному заданию ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0007.

Список литературы

1. Bhagat V. Experimental Investigations on Biodegradable Polymer Fabricated Using Extrusion-Based Additive Manufacturing // Int. Conf. on Prod. and Ind. Eng. – Singapore, 2023. – С. 137–145.
2. Quarto M., Carminati M., D’Urso G. Density and shrinkage evaluation of AISI 316L parts printed via FDM process // Mat. and Man. Proc. – 2021. – Т. 36, № 13. – С. 1535–1543.
3. Carminati M.A comprehensive analysis of AISI 316L samples printed via FDM: structural and mechanical characterization // Key Eng. Mat. – 2022. – Т. 926. – С. 46–55.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Синюков М.С.¹

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
e-mail: sms-0305@yandex.ru

В современных теплообменных системах надежность и эффективность работы во многом зависят от качества соединений между деталями [1, 2]. Одним из ключевых соединений таких систем является соединение плоскоовальных труб с оребрением. Предлагается инновационный подход к обеспечению высокого качества этих соединений посредством применения магнитно-абразивной обработки. Данный метод позволяет значительно улучшить адгезию и прочность соединения за счет обработки, как плоскости трубы, так и торцевой поверхности пластин, что открывает новые перспективы для повышения долговечности и эффективности теплообменников [3, 4].

По результатам литературного обзора проведен анализ международного и отечественного опыта в области магнитно-абразивной обработки. Установлено, что в настоящее время разработаны основные принципы магнитно-абразивной обработки, однако в достаточной степени не исследованы сочетания параметров магнитно-абразивной обработки, не определены ключевые технологические параметры и диапазоны их варьирования [5, 6, 7].

Для обработки плоских поверхностей предложено устройство, содержащее постоянные магниты, и представляющее собой торцевую фрезу, где вместо режущих пластинок расположены постоянные магниты. Компьютерное моделирование, необходимое для рассмотрения возможности применения предлагаемого способа и устройства, проведено в программном обеспечении *ANSYS Maxwell*. В частности, исследовано распределение магнитного поля в рабочем зазоре.

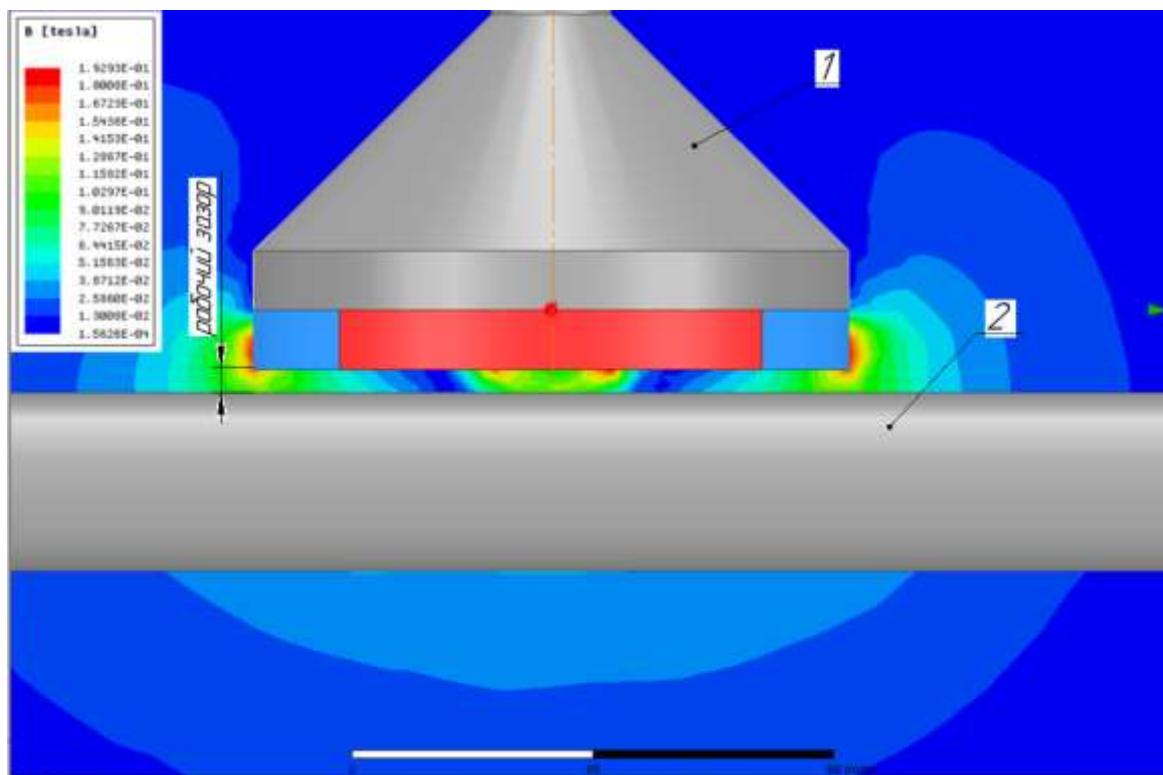


Рис. 1. Распределение магнитного поля предлагаемого устройства:
1 – корпус устройства; 2 – плоскоовальная труба

Граничными условиями моделирования распределения магнитного поля в рабочем зазоре предлагаемого устройства приняты следующие параметры: материал заготовки – алюминиевый сплав АМц; материал полюсных наконечников – сталь Ст 3; материал магнитов – неодимовый магнит марки NdFe30; величина рабочего зазора – 4 мм.

В данном случае оценивалась возможность обеспечить равномерное распределение магнитного поля, для неодимовых магнитов марки *NdFe30* величина индукции *B* достигла лишь 0,1 Тл. Однако с учетом вращения устройства порядка 200–300 мин⁻¹ предполагается, что распределение магнитного поля будет равномерным, а устройство обеспечит магнитно-абразивную обработку всей поверхности плоскоооальной трубы, на которую будет установлено оребрение.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Максаров Вячеслав Викторович.

Список литературы

1. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.
2. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Бабич В.Е. Ферроабразивный порошок для магнитно-абразивной обработки на основе аморфных металлических сплавов. – Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия В: Прикладные Науки, 2006. – № 12. – С. 89–92.
3. Максаров В.В., Ефимова М.В., Филипенко И.А. Выбор параметров процесса магнитно-абразивного полирования для обработки кромок корпусных деталей летательных аппаратов из алюминиевых сплавов. – Цветные металлы. – 2024. – № 3. – С. 78–84. – DOI 10.17580/tsm.2024.03.11.
4. Chawla G. Experimental Investigation of Process Parameters of Al-SiC-B4C MMCs Finished by a Novel Magnetic Abrasive Flow Machining Setup / G. Chawla, V.K. Mittal, S. Mittal // Walailak Journal of Science and Technology (WJST). – 2021. – № 18 (18).
5. Marczak M. Finite element analysis of the magnetic field distribution in a magnetic abrasive finishing station and its impact on the effects of finishing stainless steel AISI 3041 / M. Marczak, J. Zawora // Metals. – 2021. – № 2 (11). – С. 1–24.
6. Nahy A.M., Kadhum A.H. Optimizing the micro-hardness of a surface by magnetic abrasive finishing / A.M. Nahy, A.H. Kadhum // Institute of Physics Publishing. – 2020. – № 1 (870).
7. Nam S.S., Kim J.S., Mun S.D. Magnetic abrasive finishing of beta-titanium wire using multiple transfer movement method / S.S. Nam, J.S. Kim, S.D. Mun // Applied Sciences (Switzerland). – 2020. – № 19 (10). – С. 1–13.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЕГМЕНТИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Сергеева В.М.¹, студентка гр. ТОА-21

Гильвитинов М.О.², студент гр. ТОА-21

*^{1,2}Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия,*

e-mail: ¹s210479@stud.spmi.ru, ²s210468@stud.spmi.ru

На сегодняшний день в машиностроении все большую популярность получают стали аустенитного класса, например, 08X18H10, 12X18H10T и т. п. При чем большинство из них относятся к труднообрабатываемым материалам, при точении которых образуется сливная стружка.

У сливной стружки есть недостатки. В первую очередь она замедляет процесс обработки, так как рабочий вынужден очищать рабочую зону от стружки, из-за чего возникает проблема невозможности многостаночного обслуживания, что влечет за собой снижение производительности труда. Во-вторых, при чистовой обработке, стружка, попадая на ранее обработанную поверхность, ухудшает ее качество. В-третьих, такую стружку требуется перерабатывать с помощью различных прессов и дробилок, так как при переплавке такой стружки половина объема стружки просто сгорает [1].

Однако и мелкодробленая стружка не будет лучшим вариантом сегментирования, так как ее мелкие частицы, попадая на базовые поверхности приспособлений, будут приводить к снижению точности обработки, в следствие чего увеличиваются затраты времени и ресурсов на очистку подобных поверхностей.

В этой связи можно сделать вывод, что стружка должна быть не просто дробленой, а иметь определенные форму и размеры, которые не будут мешать процессу резания, при этом будут удобны при транспортировке и переработке. Поэтому подбор правильного сегментирования стружки при обработке сталей аустенитного класса является актуальной и важной инженерной задачей. Для решения данной проблемы рассмотрены несколько современных методов комбинированной обработки.

Первый способ заключается в использовании стружколомающих сменных режущих пластинках совместно с предварительным высокотемпературным охрупчиванием. «Аустенитные стали подвержены высокотемпературному охрупчиванию, который приводит к снижению значений составляющей силы резания, минимальным износам режущего инструмента, что ведет к повышению обрабатываемости материалов и изменению стружкообразования от сливной к элементной» [2]. В этом методе применяется сразу несколько важных факторов: правильная форма стружколома на пластинке отводит стружку из зоны резания; повышенная скорость резания и температура создают условия, при которых образуется стружка нужного вида, которая при этом не попадает на обработанную поверхность заготовки.

Вторым способом для обработки сталей аустенитного класса является предварительное локальное криогенное воздействие (ЛКВ) на внешней поверхности срезаемого слоя. Горбунов О.И. описывает этот метод так: «...вдоль всей заготовки на определенную глубину происходит криогенное воздействие, в результате которого происходит переход остаточного аустенита в мартенсит. Это приводит к изменению кристаллической решетки, структуры металла, повышению поверхностной твердости и появлению внутренних напряжений» [3]. Во время лезвийной обработки инструмент проходит через участки ЛКВ, где создается мгновенное изменение напряжений и в результате стружка в виде элементов отделяется от заготовки (рис. 1).

В третьем способе рассмотрен патент RU2764449C1. Он описывает обработку металла с помощью локального лазерного луча лазерной головки локальной метастабильной зоны на поверхности заготовки по винтовой линии (рис. 2). Суть метода заключается в следующем: «...лазерный луч, фокусное расстояние которого обеспечивает формирование переменной по

глубине локальной метастабильной структуры, работает совместно с режущим инструментом с отрицательным передним углом» [4]. С помощью отрицательного переднего угла γ инструмента и метастабильной структуры создаются дополнительные напряжения, способствующие сегментированию сливной стружки. В результате инструмент проходит через зону метастабильности, в которой резко возрастают напряжения, благодаря чему и происходит сегментирование стружки.

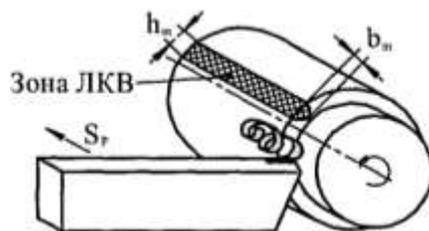


Рис. 1. Схема расположения зоны локальной метастабильности в обрабатываемом материале относительно движения режущего инструмента [3]

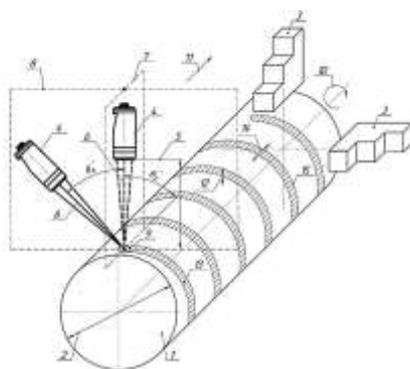


Рис. 2. Схема ориентирования локального лазерного луча на поверхности стальной заготовки [4]

Подводя итог можно сказать, что все три метода решают проблему стружкообразования при обработке труднообрабатываемых сталей аустенитного класса. Авторы рекомендуют их использование для обработки деталей повышенной точности. Для установления наиболее эффективного метода необходимы дополнительные исследования.

Список литературы

1. Боткин И.В., Фирсов А.М. Стружкодробление как фактор, обеспечивающий повышение производительности токарной обработки вязких сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2004. – № 2 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struzhkodroblenie-kak-faktor-obespechivayuschiy-povyshenie-proizvoditelnosti-tokarnoy-obrabotki-vyazkih-staley>.
2. Артамонов Е.В., Васильев Д.В., Чернышов М.О. Стружкодробление при автоматизированной обработке резанием труднообрабатываемых сталей путем комплексного применения стружколомающего инструмента и высокотемпературного охрупчивания // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2020. – 24(1): 8–22. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-8-22>.
3. Горбунов О.И. Повышение эффективности процесса резания сталей аустенитного класса с предварительным локальным криогенным воздействием: дис. ... канд. тех. Наук 05.02.07 / О.И. Горбунов – СПб., 2012. – 212 с.
4. Максаров В.В., Ефимов А.Е. Способ механической обработки стальной заготовки с дроблением стружки: пат. 2764449 Рос. Федерация. № 2764449; заявл. 19.07.2021; опубл. 17.01.2022, Бюл. № 2. 14 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОКИ МАТЕРИАЛА НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

*Морев Д.А., аспирант гр. 4А20,
Ефременков Е.А. ч, к.т.н., доцент ОмШ
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел. (3822)-444-555
e-mail: dam40@tpu.ru*

Применение лезвийной обработки материалов для получения изделий носит массовый характер, так как путём резания металла можно получать детали практически любой конфигурации с необходимой эксплуатационной точностью и в то же время имея экономическую выгоду. В процессе развития данной области машиностроения появилось оборудование с ЧПУ, что позволило обрабатывать поверхности, имеющие сложную геометрию в автоматическом режиме, при этом выигрывая по времени обработки у универсальных станков.

Вторым шагом при оптимизации процессов резания стало широкое распространение твердосплавного инструмента, что позволило повысить скорость резания, а также увеличить стойкость инструмента. Однако оптимизация процессов резания на этом не остановилась, вследствие чего появились новые стратегии обработки материалов.

Базой для этого стало развитие САМ систем позволяющим производить подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ имеющих возможность оценить возникновение коллизий в процессе обработки, а также просчитать трудоёмкие и объёмные траектории в короткие сроки.

Сумма вышеперечисленных факторов привела к возникновению методов высокопроизводительной обработки материалов, одним из таких методов является высокоскоростное фрезерование.

В основе метода лежат несколько ключевых аспектов, таких как жесткость системы СПИД, определённые режимы резания, а также сама траектория обработки.

В нашем случае обрабатываемым материалом являлась хромоникелевая сталь, имеющая следующие типовые характеристики:

Предел текучести: 770–826 МПа;

Временное сопротивление разрыву: 900–930 МПа;

Относительное удлинение: 25 %;

Твёрдость HB > 277 ≈ HRC 30.2.

Заготовка в оправке была закреплена в трехлапчатом патроне, схема закрепления изображена на рис. 1.

В качестве режущего инструмента была выбрана четырёхзубая твердосплавная фреза диаметром 12 мм с PWD покрытием AlTiN и углом спирали в 38 градусов. Инструмент был закреплён в термопатроне HSK63A-SF12-120 имеющим балансировку G2.5 / 25000 об/мин.

Первоначальным вариантом обработки была выбрана послойная обработка с несколькими боковыми проходами при этом глубина за проход равнялась 1,5 мм, а боковое перекрытие порядка 50 % от диаметра фрезы, схема обработки изображена на рис. 2.

Для данного типа обработки были заданы следующие режимы резания:

Число оборотов шпинделя $n = 1330$ об/мин;

Подача минутная $F = 240$ мм/мин;

Полное время обработки составило 43 минуты, при этом размеры получены в пределах допусков.

После оптимизации траектории она приняла вид, изображённый на рис. 3, в данном случае глубина обработки была увеличена до 16 мм, то есть на всю глубину обрабатываемой поверхности, при этом шаг за один проход был сокращён до 0,5 мм.

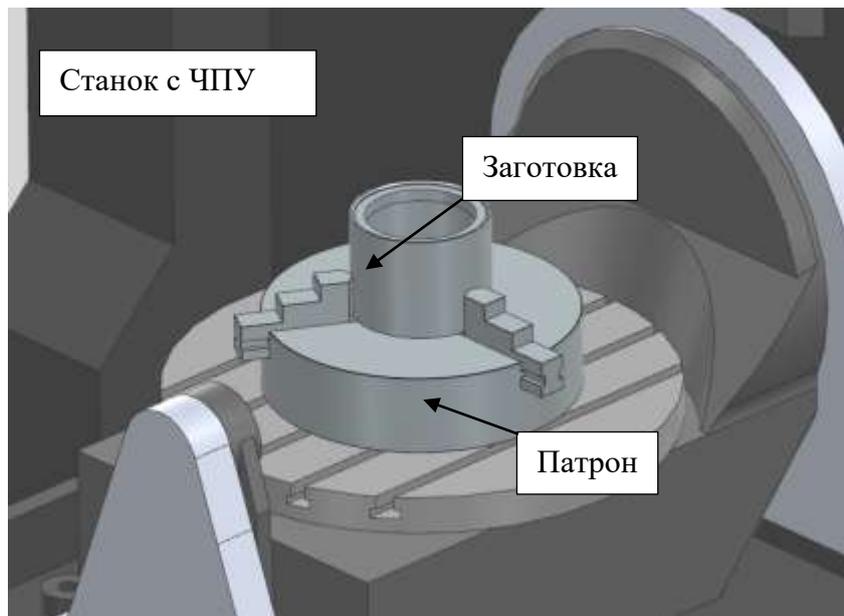


Рис. 1. Схема закрепления заготовки

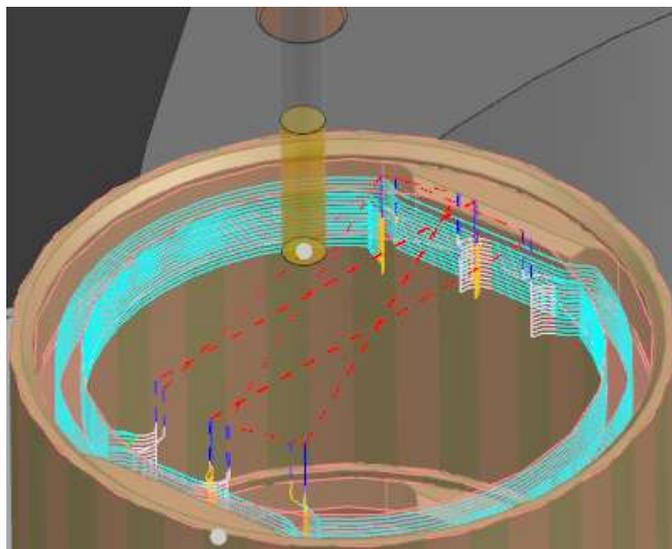


Рис. 2. Схема первого варианта обработки

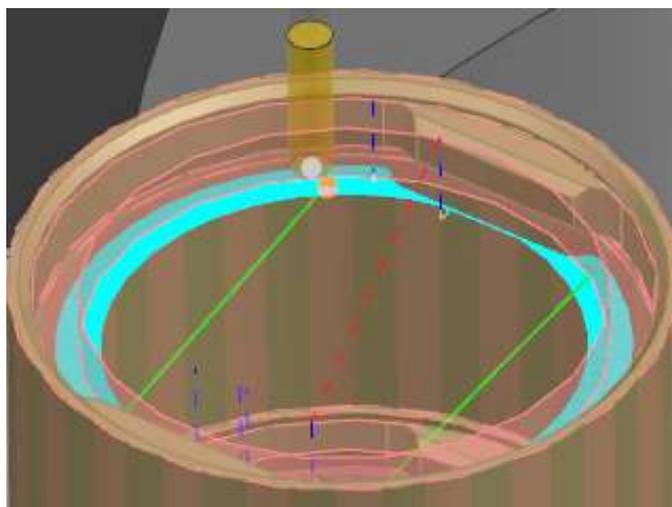


Рис. 3. Схема второго варианта обработки

Корректировку претерпели и режимы резания, в представленном варианте они имели следующие значения:

Число оборотов шпинделя $n = 4375$ об/мин;

Подача минутная $F = 1500$ мм/мин;

При этом время обработки составило 11 минут, размеры были также выдержаны в пределах допусков.

Также стоит сказать, что в обоих методах применялось охлаждения при помощи СОЖ, и вариант без быстрого отвода тепла из зоны резания не применим для высокоскоростной обработки априори.

Как итог имеется четырёхкратный прирост производительности при небольшой потере стойкости инструмента. Однако доступность твердосплавного инструмента и его цена нивелируют данный недостаток и дает возможность для масштабируемости данного метода обработки в рамках всего производства, за исключением особых случаев.

Список литературы

1. Локтев А.Д., Гуцин И.Д., Батуев В.А. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник в 2-х томах. – М.: Машиностроение, 1991.

2. Режимы резания металлов. Справочник. Под ред. Ю.В. Барановского. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – М., «Машиностроение», 1972.

3. Резание материалов и режущий инструмент Методические пособие по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» – Томск: изд.-во ТПУ, 2014. – 131 с.

4. Ведмидь П.А., Сулинов А.В. Программирование обработки в NX CAM. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 304 с. ил.

5. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: Изд-во «Полиграфия», 2003. – 301 с. ил.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ ФИНИШНОЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

*Каренина Р.А., аспирант 4 курса,
e-mail: radmila8609@mail.ru*

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Резьбовые замковые соединения бурильных труб должны выполнять ряд важных функций, которые направлены на быстрое и надежное соединение (завинчивание) труб между собой, способность при высоких значениях осевых растягивающих и сжимающих нагрузок передавать крутящий момент на бурильную трубу и породоразрушающий инструмент, обеспечение надежной герметизации бурильных труб. трубы под высоким давлением промывочной жидкости. Однако практическое применение бурильных труб при бурении показало, что резьбовые соединения, допускающие сложное чередование нагрузки на изгиб и растяжение остаются наиболее уязвимым элементом бурильной колонны [4]. При многократных операциях завинчивания и отвинчивания профиль резьбы изнашивается и деформируется, снижается герметичность и механическая прочность, повышается риск обрыва резьбы. В связи с этим задача повышения эксплуатационных показателей, снижения аварийности и срока службы резьбового замкового соединения при сложных циклических нагрузках является актуальной и должна рассматриваться с учетом разработанных инновационных технических и технологических решений.

Одним из способов обеспечения эксплуатационных свойств является применение операций по формированию микрогеометрии поверхностного слоя деталей [3, 11].

Обработка материалов традиционными методами, такими как шлифование, притирка и хонингование, является сложной задачей из-за их сложного профиля, что приводит к низкой эффективности подготовки поверхностей деталей [10]. Таким образом, приходится прибегать к поиску новых способов финишной обработки поверхностей.

Магнитно-абразивная обработка (МАО) позволяет добиться чистовой обработки поверхности, управляя силой и движением магнитных абразивных частиц с помощью внешних магнитных полей [1, 12]. В процессе МАО образуется гибкая щетка, состоящая из ферромагнитных и абразивных частиц. МАО стал популярным благодаря лучшей управляемости процесса, гибкости инструментов и способности к самозатачиванию [5, 8].

Для проведения исследований по равномерной обработке резьбовых поверхностей замкового соединения с применением магнитно-абразивного полирования подготовлены образцы, коническая замковая резьба которых изготовлена согласно ГОСТ Р 50864-96. Полирование осуществлялось на специально разработанном устройстве, базирующемся на фрезерном станке с ЧПУ (рис. 1).

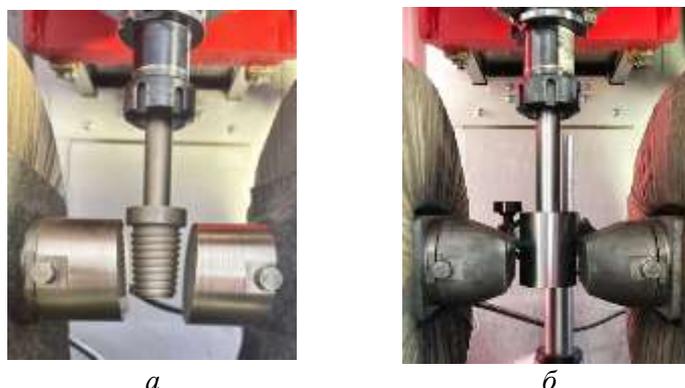


Рис. 1. Установленные в устройство для МАП образцы: а – с наружной резьбой; б – с внутренней резьбой

Наружные резьбовые поверхности обрабатывались с одновременными вращательным, возвратно-поступательным и осцилляционным движениями образцов в магнитно-абразивной массе в межполюсном пространстве установки, внутренние резьбовые поверхности – с одновременным вращательным и осцилляционным движениями образцов.

По результатам проведенных серий экспериментов значение шероховатости резьбовых наружных и внутренних поверхностей снижалось в диапазоне $Ra = 2,552 \dots 0,351$ мкм, что свидетельствует о повышении надежности, коррозионной стойкости резьбового замкового соединения [7, 9].

Список литературы

1. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. Мн: БГАТУ, 2013. – 372 с.
2. Болобов В.И., Попов Г.Г. Методика испытаний трубопроводных сталей на устойчивость к коррозии в канавках. Журнал горного института 252(6) 854-860. 2021. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.6.7>.
3. Макаров В.Ф. Применение различных методов упрочняющей обработки деталей с целью повышения сопротивления усталостному разрушению / В.Ф. Макаров, С.П. Никитин, М.В. Песин, А.С. Горбунов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 9(204): Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. – С. 28–31.
4. Песин М.В. Технологическое обеспечение, повышение качества и долговечности деталей нефтепромыслового и бурового оборудования / Песин М.В., Е.Д. Мокронос // Экспозиция Нефть Газ. – 2010. – № 6.
5. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич // Мн.: Наука и техника. – 1981. – 328 с.
6. Халтурин О.А. Моделирование формообразования поверхности замковой резьбы / О.А. Халтурин, В.А. Иванов, М.М. Базуев // Advanced science: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза: «Наука и Просвещение», 2019. – С. 93–96.
7. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 200 с.
8. Anjaneyulu K., & Venkatesh G. Surface texture improvement of magnetic and nonmagnetic materials using magnetic abrasive finishing process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021, 235(19), 4084–4096. <https://doi.org/10.1177/0954406220970590>.
9. Jing, G., Hu, F., & Chen, Y. (2020). Failure analysis and revamping methods for loading threaded joints of raiseboring machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 546, 052064. DOI:10.1088/1755-1315/546/5/052064.
10. Kumar R. Recent advancements in magnetic abrasive finishing: a critical review. / R. Kumar, V. Rao Komma // Engineering Research Express, Exp.6, 012504. 2024. DOI: 10.1088/2631-8695/ad2ef7.
11. Maksarov V.V., Efimova M.V., Filipenko I.A. Choosing parameters of a magnetic abrasive polishing for machining of edges of aircraft body parts from aluminum alloys Tsvetnye Metally, 2024(3), pp. 78–84. DOI: 10.17580/tsm.2024.03.11.
12. Maksarov V.V., Popov M.A., Zakharova V.P. Influence of magnetic abrasive machining parameters on ceramic cutting tools for technological quality assurance of precision products from cold-resistant steels Chernye Metally. – 2023. – № 1. – PP. 67–73. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.01.10>.

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКОЙ

Каргин А.М.

*Томский политехнический университет, ИШНКБ, АЗ-22, аспирант,
e-mail: amk20@tpu.ru*

Аннотация

Рассмотрены современные подходы к управлению структурой металла шва, получаемых методом одноимпульсной аргонодуговой сварки. Проанализированы различные способы и приемы, применяемые для получения оптимальной структуры и свойств сварных соединений. В данном обзоре рассматриваются возможности и эффективность управления структурой и свойствами сварных соединений, выполненных одноимпульсной аргонодуговой сваркой.

Введение

Развитие промышленного производства требует разработки и применения эффективных методов обработки и сварки, которые обеспечивали бы высокое качество изделий и конструкций. Актуальность применения одноимпульсной аргонодуговой сварки обусловлена необходимостью получения стабильной формы и свойств сварных соединений. Современные сварочные источники расширяют возможности управления структурой сварных соединений путем регулирования тепловложения, а свойства расходных материалов позволяют управлять химическим составом сварных соединений.

Целью работы являлся анализ методов управления структурой сварных соединений сталей при сварке неплавящимся электродом.

В настоящее время вопрос управления структурой металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) при сварке неплавящимся электродом изучен недостаточно, что может приводить к дефектам не только при выполнении сварочных работ, но и при эксплуатации деталей. В связи с этим обеспечение оптимальной структуры сварных соединений независимо от исходного состояния материала является актуальной задачей.

Для процесса сварки свойственны некоторые особенности, которые связаны с повторным расплавлением используемого для создания металлоконструкций материала, и его повторной кристаллизацией. Благодаря высокой скорости охлаждения и повышенному содержанию примесей, в металле шва часто появляются выделения избыточных фаз, вследствие чего металл шва и зоны термического влияния (ЗТВ) обладает пониженными пластическими характеристиками, особенно, при эксплуатации в условиях низких температур. Поэтому одной из основных задач при сварке является получение оптимальной структуры, обеспечивающей получение требуемых свойств металла.

Регулирование структуры металла ставит целью уменьшение содержания закалочных составляющих (мартенсита и нижнего бейнита), повышения температуры их образования и получения наиболее благоприятной внутренней тонкой структуры, уменьшения размера действительного зерна.

Регулирование структуры ЗТВ и шва возможно путем выбора рациональной системы легирования и состава стали, осуществляемого на этапах конструкторско-технологической проработки сварных узлов или разработки сталей для вновь создаваемых конструкций. Из высокопрочных сталей (σ_b до 1500...2000 МПа) предпочтительно применение комплекснолегированных сталей с минимально возможным содержанием углерода, одновременно легированных карбидообразующими элементами Mo и W. Из сталей повышенной прочности (σ_b до 800 МПа) рекомендуется применение так называемых микролегированных сталей, содержащих до 0,1 % углерода и группу дисперсионно упрочняющих элементов Nb–V и Mo–Nb–V (в сумме до 0,5 %).

Управление структурой сварного шва возможно двумя группами методов, которые можно разделить на металлургические и технологические.

Металлургические методы

В процессе сварки неплавящимся электродом наиболее просто металлургическое воздействие на металл шва можно осуществить путем легирования с помощью присадочной проволоки соответствующего состава. Для легированных сталей наиболее рациональным является применение сварочной проволоки с составом, близким к основному металлу [1]. Проведенный анализ показывает, что для обеспечения мелкодисперсной структуры сварных швов низкоуглеродистой стали 09Г2С, выполненных дуговой сваркой неплавящимся электродом, может быть эффективно использована проволока Св-08Г2С. Присутствие марганца способствует большему содержанию в сварном шве игольчатого феррита, что является достоинством использования марганца как элемента-раскислителя, а также улучшает структуру швов. Введение никеля в состав стали способствует измельчению структуры стали и в целом улучшает механические свойства сварных швов. Происходит не только измельчение структуры, но и более равномерное распределение карбидной смеси. Кремний используется, в первую очередь, как раскислитель, способствуя выведению оксида марганца из стали, и поэтому используется совместно с марганцем для легирования. Уменьшение содержания кислорода в металле шва ведет к повышению ударной вязкости.

Другим металлургическим методом воздействия на металл сварного шва является применение модифицирования. В качестве модификаторов могут использоваться различные карбидообразователи. Наиболее эффективными элементами являются вольфрам, молибден и ниобий, а наиболее доступным – ванадий. Так, введение ниобия в количестве 0,02 % способствует образованию термически стойких карбидов, которые препятствуют росту зерна и способствуют измельчению структуры, поэтому модифицирование ниобием может рекомендоваться для управления структурой сварных швов.

Технологические методы

Важным преимуществом технологических методов является возможность воздействия на структуру металла в ЗТВ. Основные технологические приемы управления структурой представлены на рис. 1.



Рис. 1. Технологические приемы воздействия на структуру сварных швов при сварке неплавящимся электродом

Предварительная холодная деформация позволяет измельчить структуру зерна за счет образования зародышей новых зерен. В связи со сложностью реализации при сварке этот технологический прием не получил распространения.

Термообработка по режиму нормализации наиболее эффективно воздействует на структуру сварных соединений, однако практическая реализация термообработки в условиях монтажа является затратной.

Использование медных накладок и (или) подкладок-холодильников является достаточно доступным приемом и зачастую используется не только для управления структурой, но и формой сварного шва. Ограничения в использовании холодильников относятся в первую очередь к сталям, склонным к закалке.

Импульсное тепловложение при сварке является распространенным технологическим приемом, который облегчает формирование швов при сварке в различных пространственных положениях и сварке тонкого металла, при этом из-за изменения временной интенсивности введения теплоты этот прием воздействует на процессы образования структуры как сварного шва, так и ЗТВ. Многопроходная сварка оказывает благоприятное воздействие на структуру ЗТВ и металла шва. Для литого металла сварных швов, полученного многопроходной сваркой, характерна более мелкая и более разориентированная структура. Увеличение числа проходов при сварке является благоприятным технологическим приемом для формирования структуры соединения в целом.

С помощью технологических приемов также возможно изменение направления кристаллизации металла шва. Известен способ использования переменного электромагнитного поля для измельчения структуры металла шва.

Направление кристаллизации может быть изменено за счет коэффициента формы шва (глубины проплавления), например, при использовании активирующих флюсов [2].

Наиболее доступными и универсальными технологическими методами воздействия являются использование импульсных или шаго-импульсных режимов сварки, а также многопроходной технологии сварки [3].

Импульсные способы управления процессом сварки

За последнее десятилетие также нашли применение следующие импульсные способы управления процессом сварки [4]:

- наложение внешнего магнитного поля;
- программирование скорости подачи электрода;
- импульсная подача газа(ов);
- импульсное изменение тока.

В работе [5] выявлено, что электромагнитное поле оказывает наиболее важное влияние на процесс переноса электродного металла, так как тип переноса металла меняется с крупнокапельного на струйный. Применение ЭМВ на основе аксиальных импульсных магнитных полей позволяет увеличить частоту переноса капель и соответственно уменьшить их размеры.

В работе [6] показано, что при сварке с импульсной подачей электродной проволоки происходит снижение тепловложения и образование более благоприятной структуры металла шва и ОШЗ, что способствует повышению механических характеристик.

Разработана новая технология дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсаций газовых потоков и пульсаций потенциалов ионизации, когда впервые в сварочной технологии использованы раздельно положительные свойства гелия и аргона. Гелий, обладая высокой текучестью, проникает в стык между кромками и обеспечивает защиту и подогрев обратной стороны шва. По сравнению с традиционной технологией дуговой сварки в защитных газах без пульсаций новая технология более эффективна для получения бездефектных швов [7]. Применение при дуговой сварке в защитных газах попеременной импульсной подачи разнородных газов (гелия и аргона) позволило создать принципиально новый технологический процесс, сочетающий достоинство аргонодуговой (АДС) и гелиеводуговой (ГДС)

сварки [8]. Благодаря пульсирующему изменению давления в столбе дуги, вызванному различием плотности и потенциалов ионизации аргона и гелия, возникает эффект периодического ударного воздействия на сварочную ванну, обеспечивающий получение металла сварного шва с мелкозернистой структурой, высокими пластичностью и прочностью металла.

Заключение

Показана возможность и необходимость управления структурой и свойствами сварных соединений, выполняемых одноимпульсной аргонодуговой сваркой.

В качестве металлургических методов управления структурой металла сварного шва целесообразно применение легирования с помощью сварочной проволоки, а также модифицирования.

Показана эффективность и доступность технологического приема улучшения структуры сварных швов сталей путем использования импульсной или шаго-импульсной технологии и многопроходной сварки.

Таким образом, регулирование структуры ЗТВ и шва возможно путем выбора рациональной системы легирования состава стали и сварочных проволок, применение оптимальных режимов и технологии сварки, металлургических и технологических приемов.

Список литературы

1. Шипилов А.В., Коновалов А.В., Бровко В.В., Полосков С.И. (2011). Управление структурой сварных соединений при орбитальной TIG-сварке технологических трубопроводов компрессорных станций // Известия вузов. Машиностроение. – 2011. – № 6. – 44–52.
2. Design of weld fillers for mitigation of residual stresses in ferritic and austenitic steel welds / R.J. Moat et al. // Science and Technology of Welding & Joining. – 2011. – Vol. 16, № 3. – P. 279–284.
3. Murugan N., Gunaraj V. Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 168. – P. 478–487.
4. Крампит Н.Ю., Буракова Е.М., Крампит М.А. Краткий обзор способов управления процессом дуговой сварки в среде защитных газов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.
5. Huang Jiankang, Han Rihong, Shi Yu, Fan Ding, Zhang Yuming // J. Mech. Eng. – 2012. – Vol. 48, № 8. – P. 44-48.
6. Крюков А.В., Павлов Н.В., Зеленковский А.А. Особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. – 2013. – № 5. – С. 37–39.
7. Новиков О.М., Радько Э.П., Иванов Е.Н. Разработка новой технологии дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсации газовых потоков и потенциалов ионизации // Сварщик – профессионал. – 2006. – № 6. – С. 10–13.
8. Тазетдинов Р.Г., Новиков О.М., Персидский А.С. Дуговая сварка в защитных газах ст попеременной импульсной подачей разнородных газов // Сварочное производство. – 2012. – № 1. – С. 38–42.

ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ

Андреев Д.И., аспирант гр. АЗ-31, ИШИТР

e-mail: ad_tomsk@tpi.ru

Муравьев С.В., д.т.н., профессор, ОАР ИШИТР

e-mail: muravyov@tpi.ru

НИИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Введение

Эффективность осуществления инвестиционно-строительных проектов значительно зависит от качества календарно-сетевое планирования (КСП). Современные подходы к КСП предполагают постоянные изменения и улучшения на протяжении всего жизненного цикла проекта, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и рискам. Анализ эффективности выполнения проектов в строительной отрасли [1–3] показывает, что, например, в США 75% таких проектов сталкиваются с задержкой сроков выполнения. Основная цель сетевого планирования состоит в **минимизации сроков реализации проекта**.

Повышение эффективности КСП позволяет сократить издержки производства и повысить конкурентную привлекательность компании. Организация КСП крупных инвестиционных строительных проектов требует использования программного обеспечения на основе алгоритмов, которые позволяли бы изменять параметры расписаний строительных работ в режиме реального времени.

Для достижения этой цели необходимо формально представить и оптимизировать последовательность и взаимозависимость работ, действий и/или мероприятий, обеспечивающих своевременное достижение ключевых этапов (вех) работ за счет эффективного управления технико-людскими ресурсами (ТЛР).

Постановка задачи

Одним из возможных подходов является применение комбинаторной оптимизационной задачи о рюкзаке (*knapsack problem*). Задача состоит в том, чтобы из заданного множества предметов, характеризующихся *стоимостью* и *весом* отобрать подмножество с максимальной стоимостью при ограничении на суммарный вес [4].

Пусть имеется n предметов; количество x_i копий каждого предмета определяется выбором между 0 или 1; для каждого i -го предмета заданы его вес $w_i > 0$ и стоимость $v_i > 0$, $i = 1, \dots, n$; задана также грузоподъемность W рюкзака. Тогда задача о рюкзаке формулируется следующим образом:

$$\text{найти} \quad \max \sum_{i=1}^n v_i x_i \quad \text{при ограничениях} \quad \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \quad \text{и} \quad x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

По аналогии с задачей о рюкзаке *задача о расписании* может быть представлена как выбор и последовательное выполнение набора работ (заданий) с учетом временных ограничений и их важности в рамках проекта. Оптимальным будем считать **расписание, которое минимизирует количество запаздывающих работ**.

Роль предметов в задаче о расписании будут выполнять работы. Стоимость предметов будем трактовать как время выполнения работы p_i ; в каждый момент времени может только одна работа. Вес w_i предметов в задаче о расписании можно трактовать как доход, полученный от выполнения работы [5].

Пусть имеются n работ, $i = 1, \dots, n$, для каждой из которых заданы время выполнения p_i , срок начала r_i , срок выполнения d_i и вес (доход) w_i . Необходимо составить расписание работ для одного ТЛР так, чтобы **минимизировать сумму весов запаздывающих работ**. При этом прерывание любой работы не разрешено. Пусть также для работ выполняется условие $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$.

Тогда задача о расписании состоит в нахождении допустимого множества работ с максимальным весом может быть сформулирована в форме задачи о рюкзаке [5]:

$$\max \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad \text{при ограничениях} \quad \sum_{j=1}^n p_j x_j \leq d, \quad d = d_1 = \dots = d_n \quad \text{и} \quad x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Ясно, что работа j может начинаться не раньше срока r_j и должна завершиться не позже срока d_j . Кроме того, необходимо учитывать ограничения по времени: суммарные времена выполнения выбранных заданий не должны превышать доступного времени.

Методы решения

Трансформация перечня строительных работ в набор операций, выполняемых ТЛР, позволяет применить для организации этих работ описанную выше задачу построения оптимального расписания. Трансформация предполагает детальный анализ работ и выделение ключевых этапов их выполнения. Воспользуемся, например, информацией из справочника строительных работ, см. табл. 1. Трансформируя работу «Расчистка от лесорастительности 10 гектаров леса», получаем соответствующий перечень операций ТЛР, как показано на рис. 1.

Таблица 1

Требуемые технико-людские ресурсы для расчистки от лесорастительности 1 га из справочника

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Нормы (час.)
Затраты труда рабочих-строителей	чел. ч		240,863
Вальщик леса	чел. ч	4	192,69
Подсобный рабочий	чел. ч	1	48,17
Эксплуатация машин и механизмов	маш. ч		58,653
Бульдозер среднего класса (массой 21–35 т)	маш. ч	1	13,56
Комбайн лесосечный	маш. ч	1	9,62
Трактор трелевочный	маш. ч	1	12,50
Экскаватор гусеничный среднего класса (массой 16–35 т)	маш. ч	1	22,972

```
"operation_name": "Расчистка от лесорастительности", "quantity_work": 10
  {"type_tlr": "Вальщик леса", "quant_tlr": 4, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 1926.9},
  {"type_tlr": "Подсобный рабочий", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 481.7},
  {"type_tlr": "Бульдозер", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 135.6},
  {"type_tlr": "Комбайн", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 96.2},
  {"type_tlr": "Трактор трелевочный", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 125.0},
  {"type_tlr": "Экскаватор", "quant_tlr": 1, "oper_rank": 0, "oper_id": 0, "value": 500, "rank_unl": 1, "total_time": 229.72}
```

Рис. 1. Вид базы данных операций по расчистке 10 га лесорастительности

Для решения задачи (2) традиционно используются следующие методы [4, 5]:

- *динамическое программирование* (задача разбивается на подзадачи, результаты решения которых используются для построения решения полной задачи; может требовать значительных вычислительных ресурсов в худшем случае);
- *генетические и метаэвристические методы* (эволюционные алгоритмы, где набор решений рассматривается как популяция; способны находить близкие к оптимальным решения для высоко размерных задач, но не гарантируют оптимального решения);
- *метод ветвей и границ* (метод сокращенного перебора при поиске оптимального решения; обеспечивает более эффективный поиск решения, т. к. отсекает лишние варианты; гарантирует нахождение оптимального решения, но может требовать значительных вычислительных ресурсов в худшем случае).

В ходе предварительных исследований, был применен метод ветвей и границ для решения задачи оптимального планирования работ для двух групп ТЛР – «комбайн» и «бульдозер», см. рис. 2. Применение метода позволило гарантировать нахождение *оптимального расписания*.

Планируем ресурс Бульдозер

Тип ТЛР = Бульдозер, Количество ТЛР = 3, Общая ценность: 1050, Общий вес: 135.92

Операция 1: Расчистка от лесорастительности, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 135.6, Ценность = 500, Удельный вес = 3.68
Время начала: 01-10-2023 09:00:00, Время окончания: 13-10-2023 12:36:00

Операция 2: Разработка грунта, Кол-во единиц = 1, Ранг = 1, Вес = 0.07, Ценность = 300, Удельный вес = 4285.71
Время начала: 13-10-2023 12:36:00, Время окончания: 13-10-2023 12:40:12

Операция 3: обратная засыпка, Кол-во единиц = 1, Ранг = 2, Вес = 0.25, Ценность = 250, Удельный вес = 1000.0
Время начала: 13-10-2023 12:40:12, Время окончания: 13-10-2023 12:55:12

Планируем ресурс Комбайн

Тип ТЛР = Комбайн, Количество ТЛР = 2, Общая ценность: 520, Общий вес: 932.0

Операция 1: Расчистка от лесорастительности, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 96.2, Ценность = 500, Удельный вес = 5.19
Время начала: 01-10-2023 09:00:00, Время окончания: 09-10-2023 17:12:00

Операция 2: Мульчирование, Кол-во единиц = 1, Ранг = 0, Вес = 835.8, Ценность = 20, Удельный вес = 0.02
Время начала: 09-10-2023 17:12:00, Время окончания: 24-12-2023 19:48:00

Рис. 2. Пример полученного расписания для технико-людских ресурсов

Заключение

В условиях постоянно растущих требований к эффективности и срокам выполнения строительных проектов применение современных методов КСП стало особенно актуальным. Использование строго обоснованных формальных моделей построения оптимальных расписаний и эффективных методов их реализации должен позволить более эффективно управлять временными и ресурсными ограничениями в режиме реального времени, что приведет к повышению успешности проектов. В данном исследовании удалось реализовать механизм оптимального планирования работ для групп ТЛР последовательно в один поток, в дальнейших исследованиях планируется распространение подхода на случай многопоточного режима для группы ТЛР. В дальнейшем предполагается реализовать: агрегирование индивидуальных расписаний [6] с учетом предпочтений и находить оптимальное групповое расписание как ранжирование консенсуса индивидуальных расписаний [7]; учет наличия материальных ресурсов при оценивании возможности выполнения работ; вычисление ценности работы с учетом внешних факторов и неопределенностей. Результаты этих исследований позволят построить программную модель для оценки качества стратегий управления проектами.

Список литературы

1. Kukhnavets P. What Causes Construction Project Delays: 9 Reasons that Make Work Fall Behind Schedule. – URL: <https://blog.ganttpro.com/en/reasons-for-construction-project-delays> (дата обращения: 05.11.2024).
2. Five Challenges in Meeting Construction Deadlines. – URL: <https://blog.constructionmarketingassociation.org/5-challenges-meeting-construction-deadlines-solve> (дата обращения: 05.11.2024).
3. 75 % of US Construction Firms Encounter Rework Twice a Week. – URL: <https://www.xyzreality.com/resources/construction-nightmares-report-reveals-75-of-us-companies-encounter-rework-at-least-twice-a-week> (дата обращения: 05.11.2024).
4. Martello S., Toth P. Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementation. – Chichester, John Wiley & Sons, 1990. – 296 p.
5. Lawler E.L. Knapsack-like scheduling problems, the Moore-Hodgson algorithm and the «tower of sets» property // Mathematical and Computer Modelling. – 1994. – V. 20, № 2. – P. 91–106.
6. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 5. – С. 132–144.
7. Муравьев С.В., Борисова М.А. Агрегирование предпочтений в интерпретации данных энергетических обследований // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 12. – С. 155–163.

ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ «MES» В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Малеев Л.А.¹, Шаповалов Д.С.²

^{1,2}студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II,

Санкт-Петербург, Россия,

e-mail: lenyamaleev@yandex.ru; theveltonman1@gmail.com

MES – это система управления предприятием, использующая цифровое программное обеспечение. Она отвечает за планирование, контроль, мониторинг и оптимизацию производственных процессов на заводах – изготовителях в машиностроительной отрасли. Эта система также помогает улучшить эффективность производства и повысить качество продукции на предприятии [1].

MES обеспечивает контроль производственного процесса в режиме реального времени, позволяя всем сторонам, участвующим в процессе производства, контролировать операции, выявлять узкие места, минимизировать время простоя и принимать обоснованные решения. Использование MES для оптимизации планирования и управления производством способствует эффективному распределению ресурсов, распределению нагрузки, коммуникации и интегрированию внутрисистемных программ отдельного цикла производства внутри единого технологического программного обеспечения, своевременной доставке материалов (продукции) и повышению прибыльности компании (см. рис 1). Через MES данные из производственных систем по всему миру могут быть подключены к информационному потоку центральной системы ERP. Программное обеспечение MES обеспечивает эффективный сбор машинных и эксплуатационных данных. Благодаря их поддержке производственные задания могут быть оптимально спланированы. Цифровая документация заданий позволяет службе контроля качества собирать данные и функционировать независимо от таких программ, как Microsoft Excel или Word [3].

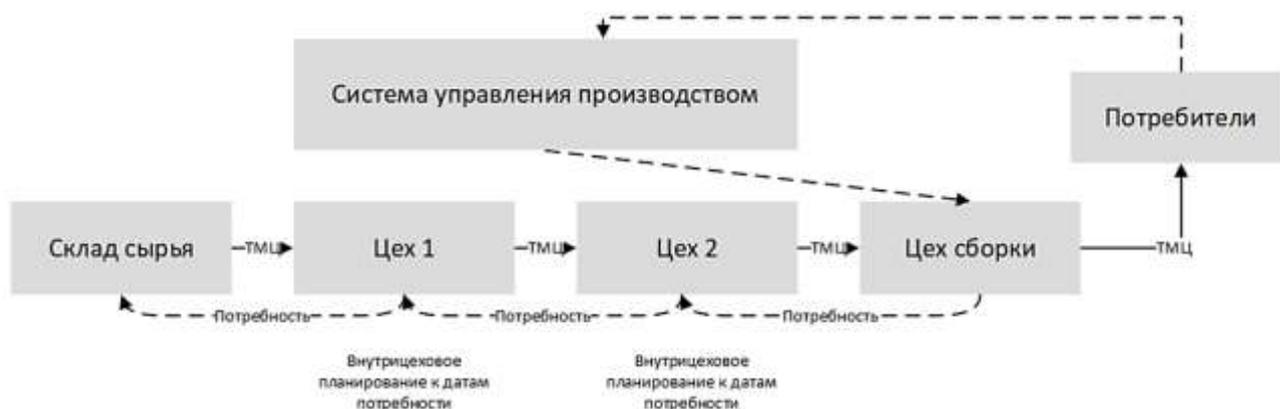


Рис. 1. Схема планирования и управления производственными процессами [2]

В машиностроительной области одной из снов производства являются сборочные линии. MES для сборочных линий предоставляет возможность удалённого управления производственными процессами. Система подходит для предприятий средних и больших мощностей с более чем 10 линиями, и они интегрируются со всеми производственными площадками, удовлетворяя разнообразные требования, присущие сборочным линиям.

В автомобильной промышленности средства управления MES играют решающую роль в координации сложных сборочных лент. Они отслеживают ход движения транспортных

средств на сборочной линии, контролируют доступность компонентов и синхронизируют операции на различных производственных станциях. MES в автомобильной промышленности часто ориентированы на обеспечение контроля качества, управление отзовами и соблюдение отраслевых стандартов, также система может контролировать и передавать на главный компьютер сведения о объёме выполненных работ сотрудника организации за конкретный период. Предприятия автомобильной отрасли, на которых используются исполнительные системы: автомобильный завод «Урал»; японская автомобильная компания «Mitsubishi Motors»; немецкий концерн «Volkswagen Group» и т. д. [4]

Предприятие трубного проката ПАО «Северсталь» разработала собственное программное обеспечение по технологическому управлению и составлению маршрутного процесса обработки и изготовления деталей. В программе уже встроены все операции, которые возможно выполнить в производственном цеху, а также оборудование, на которое выполняется та или иная операция, инженеру-технологу просто необходимо выбрать нужную операцию и оборудование, а система сама автоматически пропишет к каждому выбранному элементу технологические примечания в виде допусков, припусков, возможных деформациях и дефектах в процессе обработки детали на отдельном виде оборудования. Это позволяет должным образом сократить время на составление технологической документации, нарастить тем самым объёмы производства, и сократить себестоимость продукции.

Подводя итоги, можно отметить следующее:

- Исполнительная система MES позволяет увеличить объёмы производства практически любого машиностроительного предприятия, снизив тем самым себестоимость выпускаемой продукции, за счёт консолидации и цифровизации процессов производства в единое программное обеспечение.
- С помощью данной системы можно отслеживать и контролировать качество и объёмы выполненных работ каждого сотрудника, вносить свои изменения и поправки внутри самой программы.
- Также программное обеспечение MES позволяет установить взаимосвязь между производственными и бизнес-процессами компании, что в конечном итоге приводит к повышению её финансовых результатов.

Список литературы

1. Manufacturing Execution System // SOFTWARE URL: <https://www.wsw.de/lexikon/mes/> (дата обращения: 06.10.2024).
2. MES – Автоматизированная система управления производством // 2050 – Интегратор URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view> (дата обращения: 06.10.2024).
3. Асланова И.В. MES как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия // Российское предпринимательство. – Новосибирск: Креативная экономика, 2021. – С. 1652–1656.
4. Белоусова Ю.Г. Управление производственными процессами современного предприятия // Воронеж: ВГТУ, 2012. – С. 242–245.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ФРЕЗАМИ-РОУТЕРАМИ

Салатов К.О.¹, Вакулин М.С.¹, Гордеев Ю.И.², Бинчуров А.С.²
¹Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия,
e-mail: zetaiiii@mail.ru

²Политехнический институт Сибирский федеральный университет, Красноярск

Повышение эффективности прецизионной высокоскоростной обработки резанием сложнопрофильных изделий для аэрокосмической отрасли, получаемых из титановых и алюминиевых сплавов, требует комплексного подхода, сопряженного с решением нескольких взаимосвязанных задач: разработки и совершенствования новых конструкций инструмента, оптимизации режимов резания, создания полуэмпирических моделей и расчётных формул для определения рациональных режимов резания, прогнозирования качества обработки поверхности на стадии проектирования технологических процессов.

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование кинематических параметров и режимов высокоскоростного фрезерования для повышения производительности и качества обработки сложнопрофильных поверхностей деталей.

Экспериментальные исследования по фрезерованию изделий из алюминиевого сплава АМг6М проводились на фрезерном обрабатывающем центре Mikron VCE 800 PRO. В качестве инструментов использовались оригинальные конструкции многолезвийных фрез, разработанных ранее [1, 2] – рис. 1. Отличительной особенностью этих фрез-роутеров является увеличенное количество режущих кромок и профиля зубьев в виде усеченных трапеций – рис. 1, *а* (образованных пересечением двух винтовых канавок – рис. 1, *б*), что способствует увеличению производительности и повышению качества обработки поверхностей (по показателям шероховатости).

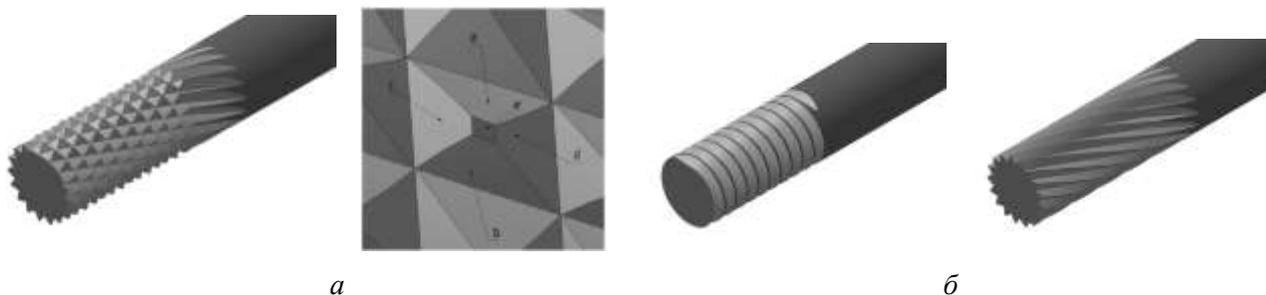
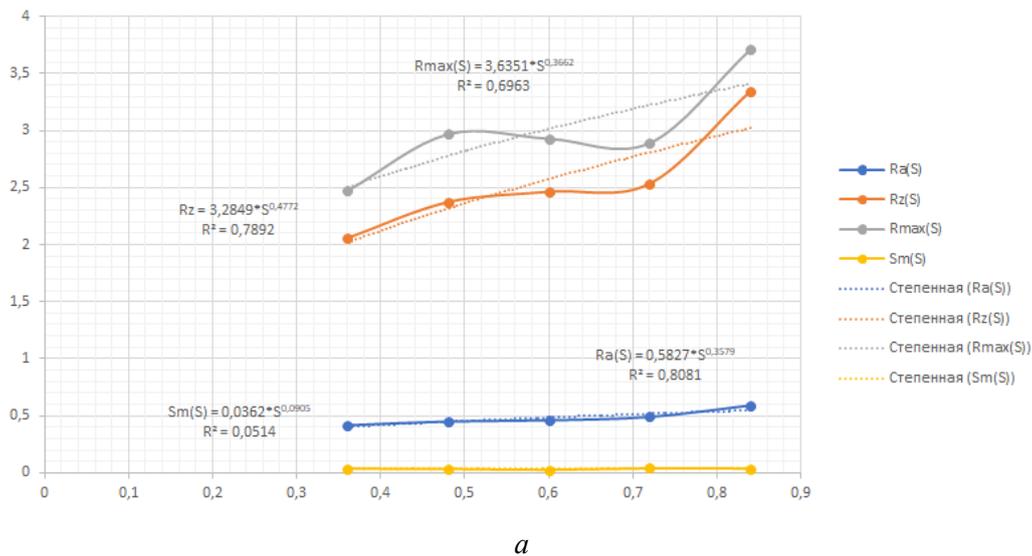
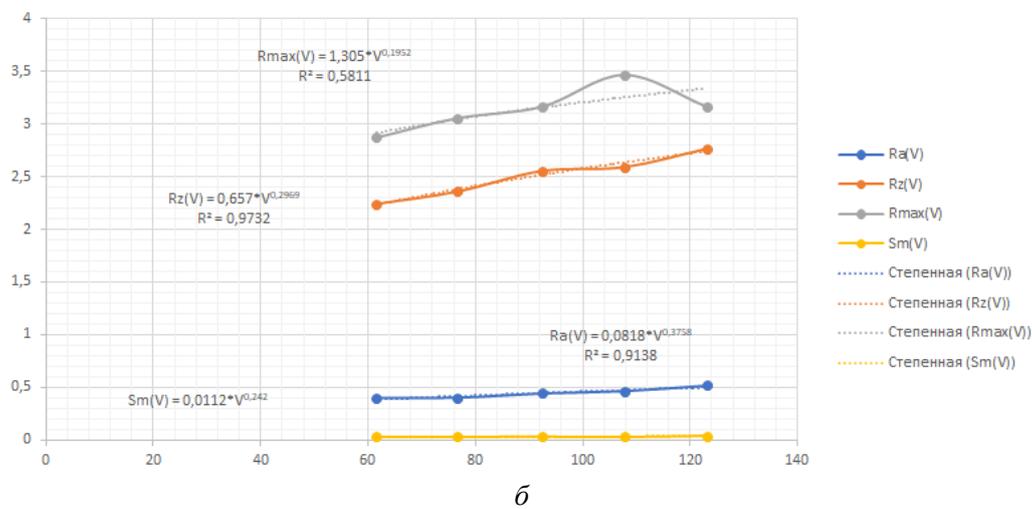


Рис. 1. Геометрия режущей части фрез-роутеров

При экспериментальном изучении качества поверхностей при высокоскоростном фрезеровании контролировались высотные параметры R_a , R_z , которые зависят от условий и режимов резания. Определение параметров шероховатости поверхностей образцов производилось измерением на профилометре-профилографе модели MarSurf M300 (диапазон измерений от -200 до $+150$ мкм), которые оценивались в соответствии с ГОСТ 2789-73. По результатам обработки экспериментальных данных при проведении однофакторных и многофакторных экспериментов были получены зависимости параметров шероховатости от режимов резания – рис. 2 и полуэмпирические расчётные формулы для прогнозирования этих параметров. Необходимо отметить, что величина глубины резания не оказывает существенного влияния на качество обработки, поскольку она лимитируется геометрическими размерами режущей части фрезы.



а



б

Рис. 2. Влияние подачи (а) и скорости резания (б) на параметры шероховатости обработанной поверхности

Типичные изображения профилей поверхности на профилометре (рис. 3) показывают хорошее совпадение с данными комплексных экспериментальных измерений шероховатости.

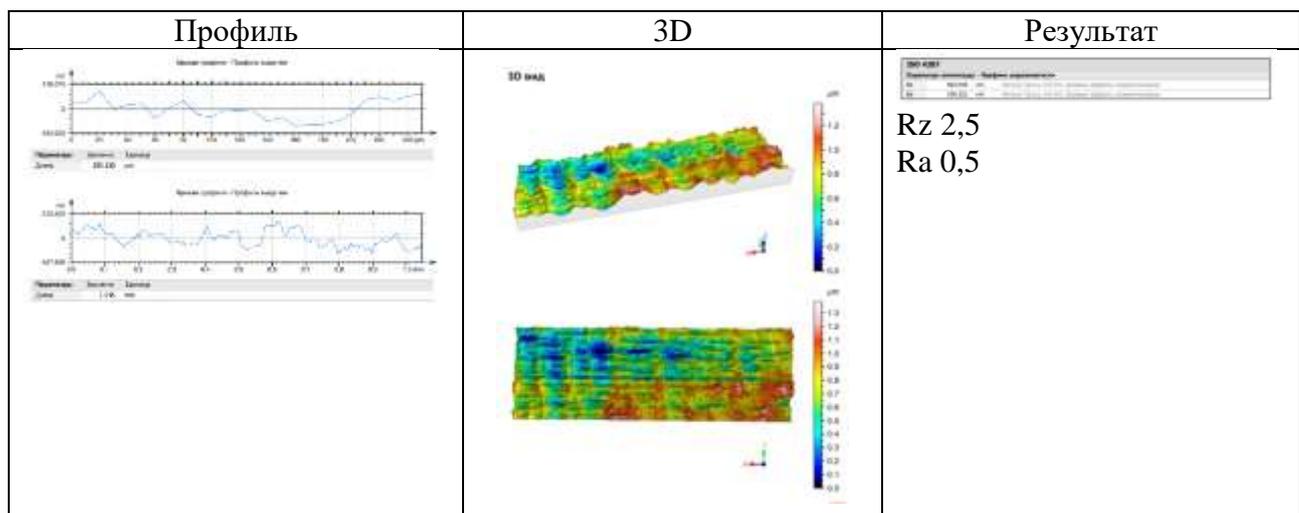


Рис. 3. Профилограммы поверхностей, обработанных фрезой-рутером

Результаты проведенных комплексных параметрических исследований показывают возможности повышения качества обработки поверхностей многолезвийными твердосплавными фрезами-роутерами при одновременном повышении производительности (за счёт увеличения интенсивности формообразования). Полученные полуэмпирические расчётные формулы позволяют определять рациональные режимы резания и прогнозировать параметры шероховатости поверхностного слоя на стадии разработки технологических процессов.

Список литературы

1. Патраев Е.В., Вакулин М.С., Гордеев Ю.И., Ясинский В.Б. Высокоскоростное микрофрезерование деталей из композиционных материалов и алюминиевых сплавов. Известия вузов. Машиностроение. – № 12(741)/2021. – С. 62–72.
2. Vakulin M.S., Gordeev Y.I., Yasinsky V.B. Design of tools with the cutting part of the original profile for high-speed milling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 754. – № 1. – С. 012008.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОСВЕННОЙ ДУГОЙ

Безруких А.А.

Сибирский Федеральный Университет, аспирант.

e-mail: Bezrukich_andrey@mail.ru

Различные способы дуговой наплавки плавящимся электродом и аддитивные технологии на основе проволочно-дугового выращивания (WAAM) позволяют обеспечить высокую производительность процессов, которая достигается за счет увеличения скорости подачи проволоки. При этом, они имеют существенный недостаток. Увеличение скорости подачи приводит к увеличению тепловой мощности [1–2] и чрезмерному проплавлению основного металла, что в конечном итоге, снижает энергетическую эффективность процесса. Обеспечить высокую производительность и минимальное проплавление, позволяют известные способы многоэлектродной наплавки [3]. Также, устранить этот недостаток позволяет технология наплавки дугой косвенного действия [4–5]. Однако, вопросы применения косвенной дуги, особенно при наплавке алюминиевых сплавов, мало освещены в литературе.

Цель работы: изучение характера переноса электродного металла при использовании дуги косвенного действия между плавящимися электродами из алюминиевого сплава.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена специальная установка, показанная на рис. 1.

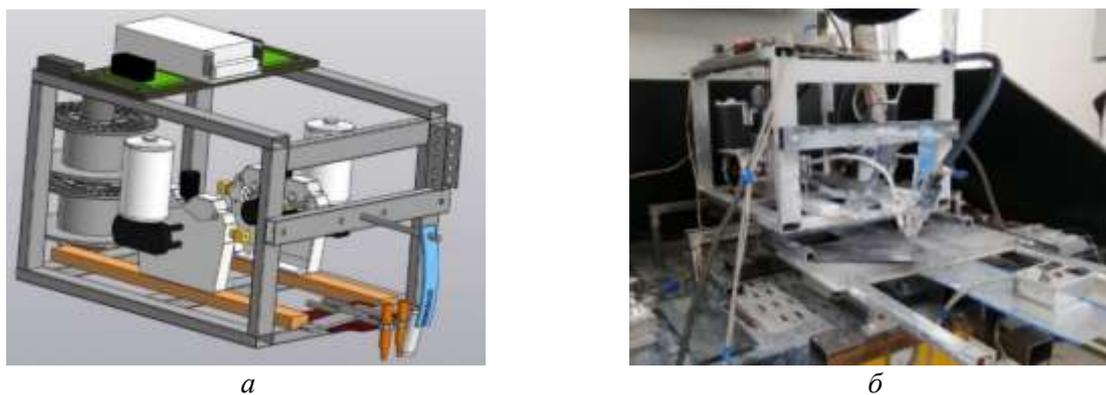


Рис. 1. Установка для проведения исследований: а – модель, б – лабораторный образец

Конструкция установки позволяет обеспечить подачу двух проволок в общую зону плавления. Для питания косвенной дуги использовался источник питания для механизированной сварки Янтарь МИГ 450. В качестве электродов использовали проволоку сплошного сечения марки АМг5 диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа использовали аргон. В ходе экспериментов фиксировали осциллограммы токов и напряжений с параллельной видеосъемкой процесса горения. Для определения особенностей переноса электродного металла при различных режимах горения косвенной дуги проводили эксперименты по изменению скоростей подачи проволок ($V_{п}$, м/мин) в процессе их плавления. В ходе экспериментов определяли ток дуги ($I_{д}$, А) и напряжение дуги ($U_{д}$, В).

На рис. 2 показаны видеокadres процесса горения дуги в диапазоне скоростей подачи проволок $V_{п} = 9...15$ м/мин. Установлен крупнокапельный перенос электродного металла, диаметр капель составляет 3...5 мм. При анализе видеокadres горения дуги выявлено отклонение капель от центральной оси плазменного факела. Процесс сопровождается редкими короткими замыканиями, которые, исходя из анализа видеозаписей не имеют цикличности по времени и носят случайный характер.

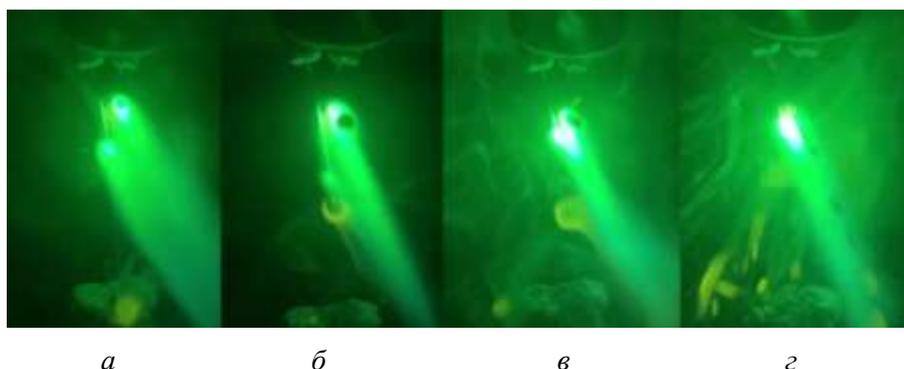


Рис. 2. Видеокadres горения косвенной дуги при различных скоростях подачи проволоки:
 а – $V_n = 9$ м/мин; б – $V_n = 11$ м/мин; в – $V_n = 14$ м/мин; г – $V_n = 15$ м/мин

На рис. 3 показаны видеокadres горения дуги в диапазоне $V_n = 16–20$ м/мин.

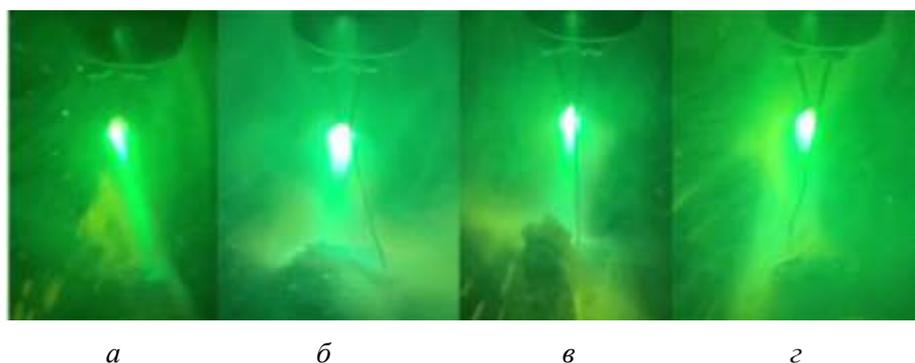


Рис. 3. Видеокadres горения косвенной дуги при различных скоростях подачи проволоки:
 а – $V_n = 17$ м/мин; б – $V_n = 18$ м/мин; в – $V_n = 19$ м/мин; г – $V_n = 20$ м/мин

Анализ видеокadres и осциллограмм горения косвенной дуги показал, что в диапазоне $V_n = 18–19$ м/мин ($I_d = 200–220$ А., $U_d = 24–25$ В.) существует область наиболее благоприятного переноса электродного металла (рис. 3 б, в) при котором наблюдается поток жидкого металла с катодной проволоки при отсутствии колебаний тока и напряжения косвенной дуги. Также установлено, что увеличение V_n свыше 19 м/мин (рис. 3, г) приводит к снижению стабильности процесса горения и увеличению разбрызгивания электродного металла.

Вывод: установлено влияние режимов горения косвенной дуги на особенности переноса электродного металла при использовании электродов из алюминиевого сплава и определена область наиболее благоприятного переноса с образованием потока жидкого металла с катодной проволоки.

Список литературы

1. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
3. Безруких А.А. Сравнительный анализ наплавки различными способами плавящимися электродами для сварки нержавеющей сталей / А.А. Безруких, Р.А. Мейстер, М.А. Лубнин, С.А. Готовко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 4(30). – С. 145–148.
4. Zhang Y.M., M. Jiang, and W. Lu, Double electrodes improve GMAW heat input control. *Welding Journal*, 2004. – 83(11). – P. 39–41.
5. Li K.H. Consumable double-electrode GMAW. Part 1: The process / K.H. Li, Y.M. Zhang // *Welding Journal*, 2008. – Vol. 87, No. 1. – P. 11–17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Кокорин И.Н.

*Тюменский индустриальный университет,
e-mail: kokorin.i.n@yandex.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается влияние внутреннего охлаждения режущих пластин на термическое и механическое поведение инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов. Основное внимание уделяется анализу температурных полей и эквивалентных напряжений, полученных с использованием программного комплекса ANSYS. Исследования показали, что использование внутреннего охлаждения позволяет существенно снизить температурные нагрузки и связанные с ними деформации, что улучшает эксплуатационные характеристики инструмента.

Введение

Механическая обработка труднообрабатываемых материалов, таких как титановые и жаропрочные сплавы, сопровождается значительным тепловыделением в зоне резания. Это приводит к высоким уровням термических напряжений, ускоренному износу инструмента и ухудшению качества обработки. Применение резцедержателей с внутренним охлаждением представляет собой инновационное решение, направленное на управление тепловыми процессами и повышение эффективности обработки.

Целью данной работы является исследование термического и механического поведения режущей пластины при использовании внутреннего охлаждения и оценка его влияния на эксплуатационные характеристики инструмента.

Методика исследования

Расчёты выполнены с использованием программного обеспечения ANSYS 2020 R2. Основные этапы моделирования включали:

1. Построение геометрической модели круглой режущей пластины из СТМ.
2. Определение граничных условий, включая параметры теплового потока, контактное взаимодействие с заготовкой и условия внутреннего охлаждения.
3. Проведение термического анализа для двух сценариев:
 - без использования охлаждения;
 - с использованием внутреннего охлаждения.
4. Анализ результатов, включая распределение температурных полей и эквивалентных напряжений.

Результаты и обсуждение

Анализ температурных полей показал, что без внутреннего охлаждения максимальная температура достигает 750 °С, что превышает допустимые значения для большинства СТМ. При использовании внутреннего охлаждения температура снизилась до 442 °С, что свидетельствует о существенном улучшении условий работы инструмента.

Распределение эквивалентных напряжений также продемонстрировало положительное влияние охлаждения. Без охлаждения максимальные напряжения достигали 1148,735 МПа, тогда как при внутреннем охлаждении значения снизились до 1446,1 МПа. Это указывает на снижение термических нагрузок и повышение надёжности инструмента.

Практическое значение

Снижение температурных и механических нагрузок позволяет:

- увеличить срок службы инструмента;
- улучшить качество обработки поверхности;
- снизить затраты на инструментальную оснастку.

Эти результаты подтверждают целесообразность использования внутреннего охлаждения при обработке труднообрабатываемых материалов.

Заключение

Внутреннее охлаждение режущих пластин существенно улучшает их эксплуатационные характеристики, позволяя эффективно управлять тепловыми и механическими нагрузками. Проведённый анализ демонстрирует, что внедрение данной технологии способствует повышению производительности и качества обработки, снижая износ инструмента.

Список литературы

1. Ezugwu E.O., Wang Z.M. (1997). Titanium alloys and their machinability—a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 68(3), 262–274. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(96\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(96)00030-1).
2. Denkena B., Lucas A. (2007). Biocompatible implants: machining of titanium alloys. *CIRP Annals*, 56(1), 113–136. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.028>.
3. Klocke F., Kuchle A. (2011). *Manufacturing Processes 1: Cutting*. Springer, 3rd Edition. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11979-8>.
4. Arrazola P.J., et al. (2013). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). *Journal of Manufacturing Processes*, 10(1), 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2012.11.003/>.
5. Sarikaya M., Gok K. (2021). A review on machinability of titanium alloys: advancements in cutting tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 170–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.021>.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рагиня Д.В.¹, Бинчуров А.С.², Ясинский В.Б.³

*¹Сибирский федеральный университет, аспирант,
e-mail: denisraginya@yandex.ru*

*²Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, доцент,
e-mail: mexanixs@mail.ru*

*³Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, доцент,
e-mail: VYasinskiy@sfu-kras.ru*

Выбор режущего инструмента и инструментальных сборок является одним из важных этапов технологической подготовки производства при разработке технологического процесса.

Вопросы автоматизированного подбора оптимального режущего инструмента рассмотрены в работах [1, 2, 3].

Основные свойства и характеристики режущих инструментов могут быть описаны с помощью формальных математических моделей, обеспечивающих адекватность и сохраняющих наглядность и необходимую содержательность для пользователя.

Основные проблемы при использовании автоматизированных систем подготовки производства: появление нового инструмента или замена инструмента на «аналог» – это приводит к необходимости изменения и корректировке технологического процесса, управляющих программ; большое количество источников данных по инструменту, что требует на предприятии формировать гибкую базу данных по инструменту, которая показывает режущий инструмент и комплектацию инструментальных сборок имеющихся на инструментальном складе, у поставщиков, в сети интернет у других поставщиков и производителей. Это требует постоянно вносить новый инструмент, удалять не актуальный, проводить актуализацию технологических процессов; проблема стандартизации инструмента и его классификации в рамках базы данных предприятий, что позволит его однозначно идентифицировать, как наиболее актуальный.

Существует множество автоматизированных систем, включающих обработку и хранение информации о режущих инструментах, технологической оснастке и условиях их использования на производстве.

В настоящее время существует комплекс международных стандартов ИСО 13399, представляющий собой средство электронного представления данных по режущим инструментам с помощью информационной структуры, необходимой для их описания и компоновок, предназначен для облегчения использования, манипулирования и обмена этими данными в процессе производства, распределения и применения. В Российской Федерации введены в обращение стандарты ГОСТ 55341, ГОСТ 55342 и др., которые определяют представление и обмен данными по режущим инструментам.

Комплекс стандартов включает представление данных обо всех объектах, начиная с заготовок и заканчивая металлорежущим станком. Можно обмениваться информацией о вставках (сменные режущие пластины правильной и сложной конфигурации), твердотельных резцах (сплошное сверло и концевая фреза), сборных инструментах (расточные оправки, сверла и фрезы с многогранными режущими пластинами), об адаптерах (фрезерные оправки и зажимные патроны), о компонентах (регулируемые шайбы, винты и зажимы) или любых комбинациях указанных инструментов.

Комплекс стандартов предназначен для применения в производстве, устанавливает общую структуру обмена данными о режущих между изготовителями и поставщиками инструментов, а также разработчиками производственного программного обеспечения, которые рассматривают: представления общей совокупности определений для использования при

описании отдельных режущих инструментов и в сборе; интеграции и совместного применения этих данных между приложениями программного обеспечения; прямого импорта данных об инструментах поставщиков в базы данных заказчиков или прикладные программы; снижения усилий производителей в отношении представления правильной текущей информации о режущих инструментах из разных источников и для множественных применений. Настоящий стандарт не распространяется на: информационные модели режущих инструментов; классификации и определения элементов и типов элементов данных режущих инструментов; ассоциации между свойствами и элементами в заданной классификации.

Решение задачи формирования инструментальных сборок представляет собой структурный синтез, который заключается в преобразовании описаний проектируемого объекта, исходное описание содержит информацию о требованиях к свойствам объекта, об условиях его функционирования, ограничениях на элементный состав и т. п., а результирующее описание должно содержать сведения о структуре, т. е. о составе элементов и способах их соединения и взаимодействия.

В работе рассмотрена информационная модель конструкций режущего инструмента на основе морфологических таблиц, организованных на базе фасетной системы классификации, в которой описаны конструктивные параметры режущего инструмента и инструментальных сборок. Морфологическая таблица (F) представляет собой обобщенную структуру в виде множества признаков, которыми обладают синтезируемые объекты рассматриваемого класса конструкций токарного режущего инструмента, и подмножеств способов их реализации.

Формализованное описание конструкций инструментальных сборок (ИС) представляет характеристическую функцию F^{IC}_{ij} , которая отражает определенный i -й признак конструкции ИС, который в свою очередь принимает конкретное дискретное значение j ($j = 1, 2, \dots, m$) рассматриваемой K -ой ИС. Каждая K -ая ИС описывается характеристической формулой

$$F^{IC}_{ij} = \{F^{IC}_{1j}, F^{IC}_{2j}, \dots, F^{IC}_{mj}\}$$

Переменные данной формулы являются конструктивными характеристиками инструментальных сборок, которые описывают режущий элемент, отдельный инструмент, соединительные адаптеры, интерфейсную часть для соединения со стороны станка. В формуле каждая функция F^{PI}_{ij} соответствует определенному признаку классификации и принимает конкретное значение i, j .

Предлагаемая система выбора режущего инструмента для многофункционального технологического оборудования с ЧПУ позволяет сократить сроки технологической подготовки производства. Интегрированная база данных режущего инструмента, включает данные об инструментальных державках и сменных режущих пластинах. Предложено информационное, математическое алгоритмическое обеспечение процедуры выбора рационального режущего инструмента для точения на основе анализа 3D-модели и чертежа детали.

Список литературы

1. Аверченков А.В. Повышение эффективности виртуальной подготовки производства на основе выбора оптимального режущего инструмента и стратегий обработки // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 767–774.
2. Иноземцев А.Н., Пасько Н.И., Анцев А.В. Информационная модель ситуационного управления ресурсом режущего инструмента // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 6. – С. 59–64.
3. Лукина С.В. Автоматизация процедур формирования и выбора структурных компонентов сборных режущих инструментов на этапе технической подготовки производства // Вестник СГТУ. – 2011. – № 1 (57).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФАСКЕ ИЗНОСА РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Козлов В.Н.¹, Бабаев А.С.², Семёнов А.Р.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

²Томский государственный университет, старший научный сотрудник,

e-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru;

³Томский государственный университет, аспирант,

e-mail: artems2102@yandex.ru

При обработке стали происходит износ режущих инструментов, что приводит к появлению округления режущей кромки радиусом ρ , лунки на передней поверхности шириной $b_{л}$ и глубиной $h_{л}$, а также фаски на задней поверхности длиной $h_{зп}$ (рис. 1). Наиболее опасным является износ по задней поверхности, т. к. при этом существенно увеличиваются составляющие силы резания P_{yh} , P_{xh} и P_{zh} на этой фаске, что приводит к выкрашиванию и даже сколу режущей пластины. При черновой обработке важно определить наибольшую допустимую длину фаски износа по задней поверхности $h_{зп}$, чтобы не допустить скола режущей пластины.

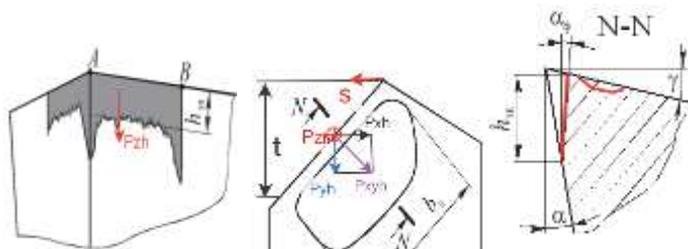


Рис. 1. Направление составляющих P_{yh} , P_{xh} и P_{zh} силы резания на фаске износа по задней поверхности

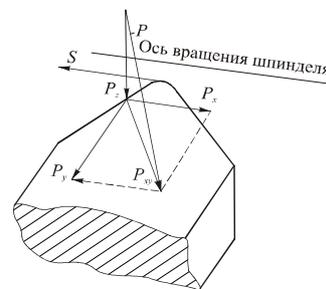


Рис. 2. Направление технологических составляющих P_y , P_x и P_z силы резания

Многочисленные ранние исследования [1–13] показали, что силы на задней поверхности режущего инструмента появляются в результате действия нескольких явлений (факторов): 1) упругого восстановления материала заготовки после прохождения режущей кромки, сжатого в процессе действия составляющей P_{xy} результирующей силы резания на передней поверхности $R_{п}$; 2) подмятия (вдавливания) под заднюю поверхность части срезаемого слоя из-за наличия округления режущей кромки радиусом ρ .

При свободном прямоугольном резании, например, при строгании, при отсутствии фаски износа на задней поверхности на передней поверхности будут действовать радиальная составляющая $P_{пн}$ и тангенциальная составляющая P_{zn} от передней поверхности резца на образующую стружку и область стружкообразования (рис. 3, а) [5].

Действие сосредоточенной силы $P_{пн}$ необходимо заменить на напряжения, действующие на проекцию условной плоскости сдвига на плоскость резания длиной $2l$. Характер распределения этих напряжений достаточно сложен, поэтому для упрощения примем, что в этой области действуют равномерно распределённые нормальные напряжения (рис. 3, б) величиной $q = P_{пн}/(2l \cdot b)$, где $2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$; b – ширина пластины с учётом малой величины уширения зоны стружкообразования; Φ – угол наклона условной плоскости сдвига ($^\circ$). В первом приближении этот угол можно рассчитать по уравнению $\Phi = \cos \gamma / (k_a \cdot \sin \gamma)$. k_a – это коэффициент утолщения стружки (chip ratio), который рассчитывается по формуле $k_a = a_1/a$, где a_1 – толщина стружки; a – толщина среза. При косоугольном резании с подачей s (мм/об) $a = s \cdot \sin \phi$, где ϕ – главный угол в плане.

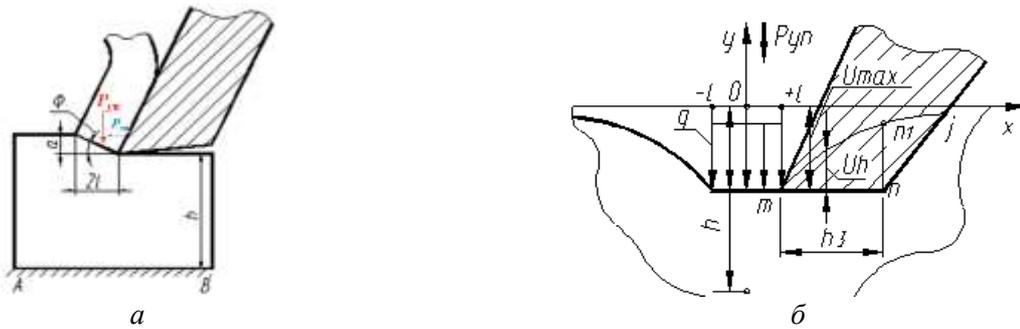


Рис. 3. Стругание пластины резцом (свободное прямоугольное резание) (а) и прогиб поверхности резания mnj , упруго восстанавливающейся при воздействии на неё силой P_{yr} в области стружкообразования (б)

Экспериментальное исследование распределения контактных напряжений может быть выполнено несколькими способами: 1) поляризационно-оптическим методом [6, 12]; 2) методом разрезного резца [4, 5, 7, 9, 10] (рис. 4); 3) методом лазерной интерферометрии [8].

Более достоверные результаты могут быть получены при использовании метода разрезного резца. В наших экспериментах был использован специальный четырёхкомпонентный динамометр В.А. Красильникова [4], который был спроектирован специально для этой цели (рис. 4). Конструкция этого динамометра позволяет использовать разрезные резцы большой ширины – 120 мм, что позволяет увеличить количество секций по ширине резца и, тем самым, уменьшить дискретность (разницу от режущей кромки до поверхности раздела пластин А и В), что приводит к увеличению точности измерения.

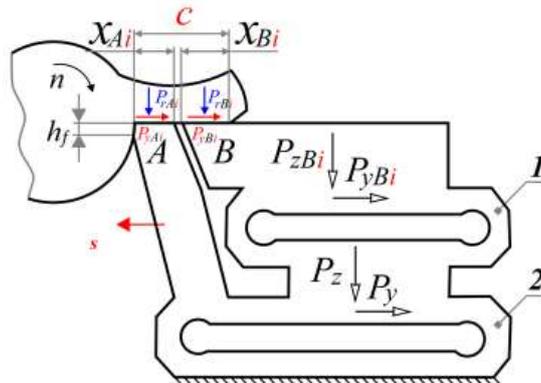


Рис. 4. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности методом разрезного резца

В наших исследованиях распределения контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности выполнялось с использованием разрезного резца [4, 5, 7] при точении ступенчатого диска с поперечной (радиальной) подачей широкого резца, т. е. с направлением подачи, перпендикулярной режущей кромки. Таким образом, реализовывалось прямоугольное свободное резание.

Достаточно большая ширина диска 4 мм в контакте с единственной режущей кромкой обеспечивала небольшое уширение в области стружкообразования, но даже незначительно выдавливаемый слой металла по краям диска удалился двумя дополнительными боковыми резцами, не связанными с резцом и динамометром, которые обеспечивали калибровку ширины зоны контакта $b = 4$ мм.

К тому же динамометр имеет два пояса упругих измерительных элементов 1 и 2, и наличие нижнего пояса 2 позволяет контролировать постоянство общих составляющих P_z и P_y силы резания в серии экспериментов.

Пластины разрезного реза состоят из нескольких секций (от 18 до 20 штук в зависимости от ширины обрабатываемого диска b_d) (рис. 5), на каждой из которых предусмотрено разное расстояние x_{Ai} (мм) от режущей кромки до поверхности раздела пластин A и B , но при этом в любом случае выполняется равенство: $x_{Ai} + x_{Bi} = c$ (мм), где c – длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента при его рассматриваемой геометрии и режиме резания.

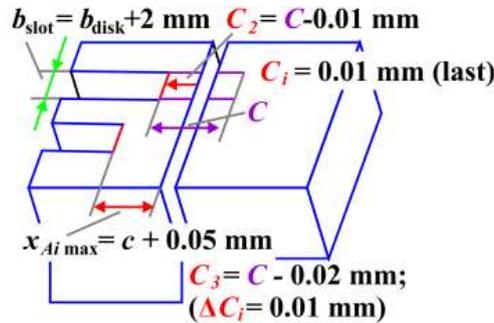


Рис. 5. Секции разрезного реза

Приращение сил P_y и P_z на рассматриваемом i -том участке пластины B по сравнению с этими силами на предыдущем ($i-1$) участке рассчитываются по уравнениям:

$$\Delta P_{yBi} = P_{yBi} - \Delta P_{yBi-1} (H); \quad (1)$$

$$\Delta P_{zBi} = P_{zBi} - \Delta P_{zBi-1} (H). \quad (2)$$

Нормальная N_i и касательная F_i силы, действующие на i -том участке, рассчитываются по уравнениям (3) и (4) в соответствии с уравнениями (1) и (2):

$$N_i = \Delta P_{zBi} \times \cos \gamma - \Delta P_{yBi} \times \sin \gamma; \quad (3)$$

$$F_i = \Delta P_{yBi} \times \cos \gamma + \Delta P_{zBi} \times \sin \gamma. \quad (4)$$

Удельные нормальные q_{Ni} и касательные q_{Fi} контактные нагрузки (силы) на i -том участке пластины B рассчитывается как отношение приращения сил на этом участке к приращению площади ΔS_i контакта стружки на этом i -том участке:

$$q_{Ni} = \Delta N_i / \Delta S_i = (N_i - N_{i-1}) / (\Delta x_i \times b); \quad (5)$$

$$q_{Fi} = \Delta F_i / \Delta S_i = (F_i - F_{i-1}) / (\Delta x_i \times b). \quad (6)$$

При $\Delta x_i \rightarrow 0$ мм удельные нормальные q_{Ni} и касательные q_{Fi} контактные нагрузки на i -том участке пластины B будут приближаться к нормальным σ и касательным τ контактным напряжениям на этом участке: $q_{Ni} \approx \sigma_i$ (МПа), $q_{Fi} \approx \tau_i$ (МПа).

Выполнение исследований распределения контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности при вышеуказанной схеме работы динамометра невозможно из-за появления уступа между пластинами A и B , который появляется вследствие большей упругой деформации измерительных упругих элементов 1 по сравнению с упругой деформации измерительных элементов 2 (см. рис. 4). Появившийся уступ начинает срезать дополнительную стружку с поверхности резания, которая забивает зазор S между пластинами A и B и нарушает работу динамометра, а иногда и приводит к разрушению кромок пластин.

Нами было предложено изменить схему работы динамометра: установить его на столе горизонтально-фрезерного станка и осуществлять подачу вертикально вверх (рис. 6). На валоправке фрезерного станка закрепляется диск из обрабатываемого материала с большим диаметром 160–200 мм, чтобы кривизна поверхности резания меньше влияла на взаимодействие по фаске задней поверхности. Режущая кромка в вертикальной плоскости совмещается с осью вращения шпинделя.

Величина минутной подачи $s_{мин}$ (мм/мин) рассчитывается из требуемой оборотной подачи: $s_{мин} = s$ (мм/об) $\cdot n$ (об/мин). В процессе эксперимента величина минутной подачи контролируется дополнительно.

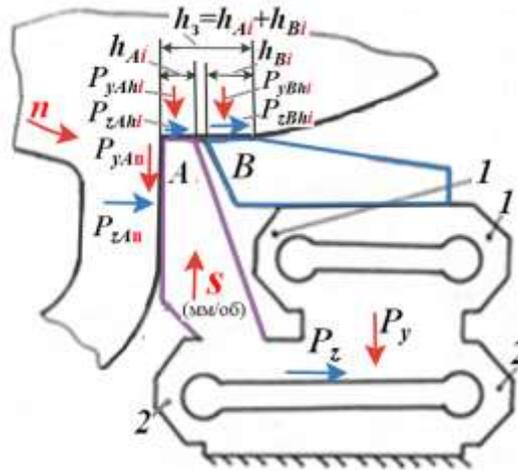


Рис. 6. Исследование распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности методом разрезного реза при предложенном расположении динамометра на столе горизонтально-фрезерного станка

Под действием радиальной составляющей P_{yn} силы резания на передней поверхности и силы P_{yAh_i} , действующей на пластине A на части фаски задней поверхности длиной h_{Ai} , упругие элементы 2 упругодеформируются и пластина A с частью фаски задней поверхности длиной h_{Ai} опускается немного вниз (рис. 6). А так как упругие элементы 1 находятся на упругих элементах 2 , то они тоже опускаются на ту же величину, поэтому уступа между пластинами A и B не образуется. Аналогичные упругие перемещения происходят в направлении оси OZ , которая располагается горизонтально при описанной схеме установки динамометра.

После этого рассчитываются изменения сил P_{yBh_i} и P_{zBh_i} при изменении длины части фаски задней поверхности пластины B на величину $\Delta h_{Bi} = h_{Bi} - h_{Bi-1}$ (мм), где h_{Bi} длина фаски задней поверхности при рассматриваемом измерении (i -е измерение), а h_{Bi-1} – длина фаски задней поверхности при предыдущем ($i-1$) измерении.

Так как задний угол на искусственной фаске износа по задней поверхности равен нулю ($\alpha_h = 0^\circ$), то изменение сил в направлении оси OZ есть сила трения F_{hi} на рассматриваемом участке, изменение сил в направлении оси OY есть нормальная сила (сила давления) N_{hi} на рассматриваемом участке:

$$\Delta P_{zhi} = P_{zBhi} - P_{zBhi-1} = F_{hi}; \quad (7)$$

$$\Delta P_{yhi} = P_{yBhi} - P_{yBhi-1} = N_{hi}; \quad (8)$$

Толщина среза при прямоугольном свободном резании равна радиальной подаче s (мм/об), но с единицей измерения мм: $a = s$ (мм).

Отношение приращения силы к приращению площади контакта фаски задней поверхности есть удельная нормальная q_{Nhi} и касательная q_{Fhi} контактные нагрузки. При малом изменении длины контакта фаски на задней поверхности пластины B (если $\Delta h_i \rightarrow 0$ мм) можно говорить о нормальном σ_{hi} и касательном τ_{hi} контактных напряжениях на рассматриваемом участке фаски задней поверхности:

$$q_{Nhi} = \Delta P_{yhi} / (b \cdot \Delta h_i) \approx \sigma_{hi} \text{ (МПа)}; \quad q_{Fhi} = \Delta P_{zhi} / (b \cdot \Delta h_i) \approx \tau_{hi} \text{ (МПа)}.$$

Исследование финансировалось Российским научным фондом, проект № 23-79-10166.

Список литературы

1. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
2. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

3. Hu, J., Chou, Y.K. Characterizations of cutting tool flank wear-land contact. *Wear* **2007**, 263(7–12), 1454–1458.
4. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения силы и напряжений на передней поверхности резца // Станки и инструменты. – 1971. – Т. 2. – С. 37–38.
5. Poletika M.F., Kozlov V.N. Forces and Deformations at the Tool Flank-In: «Enhancing the Pulling Efficiency», Riga Polytechn. Inst., Riga, Latvia, 1988. – Vol. 1. – P. 134–141 (in Russ.).
6. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поляризационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института. 1964. – Т. 114. – С. 21–32.
7. Kozlov V., Zhang J.Y., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter. *Key Engineering Materials*. – 2017. – 743. – P. 258–263.
8. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014. – № 2. – С. 100–113.
9. Физические основы процесса резания металлов. Остафьев В.А., Стабин И.П., Румбешта В.А. и др. – Киев, Вища школа, 1976. – 136 с.
10. Усачёв П.А., Пархоменко В.П. Повышение износостойкости и прочности режущих инструментов. – Киев, Техника, 1981. – 160 с.
11. Proskokov, A.V., Petrushin, S.I. Flank contact load distribution at cutting tool wear. 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST). – IEEE 2012, 2, 173–177.
12. Poletika M.F., Melikhov V.V. Contact Loads at the Tool Flank-Vestnik Mashinostroyeniya, 1967. – No. 9 – P. 31–33 (in Russ.).
13. Hu, J., Chou, Y.K. Characterizations of cutting tool flank wear-land contact. *Wear* 2007, 263 (7–12), 1454–1458.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625 МЕТОДОМ WAAM

Бельчиков И.А.¹, Бабаев А.С.², Семёнов А.Р.³

*¹Томский государственный университет, аспирант,
e-mail: ivan70422@gmail.com*

*²Томский государственный университет, старший научный сотрудник,
e-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru*

*³Томский государственный университет, аспирант,
e-mail: artems2102@yandex.ru*

Инконель 625 – это суперсплав на основе никеля, известный своей исключительной стойкостью к коррозии и механическим нагрузкам, что делает его пригодным для суровых условий, особенно в аэрокосмической промышленности. Однако его обрабатываемость создает значительные проблемы из-за его тенденции к упрочнению, низкой теплопроводности и высокой твердости при высоких температурах. Процесс фрезерования Инконель 625 создает высокие силы резания и температуры, что приводит к быстрому износу инструмента и повреждению поверхности, что требует глубокого понимания целостности поверхности для оптимизации условий обработки и повышения производительности компонентов.

Недавние исследования были сосредоточены на улучшении процесса фрезерования Инконель 625 путем изучения различных методов охлаждения и смазки, таких как криогенное охлаждение и биоразлагаемые масляные смеси. Эти методы показали многообещающие результаты в снижении износа инструмента и улучшении качества поверхности. Кроме того, использование передовых методов моделирования, включая анализ конечных элементов и методологию поверхности отклика, было использовано для оптимизации параметров резания и прогнозирования износа инструмента, что еще больше повышает эффективность процесса фрезерования.

Технологии аддитивного производства, в частности, аддитивное производство с использованием дуговой проволоки (WAAM), также были исследованы для производства компонентов из Инконель 625. Этот метод позволяет создавать сложные геометрии с улучшенными механическими свойствами и микроструктурными характеристиками [1]. Исследования показывают, что применение магнитных полей во время процесса WAAM может улучшить микроструктуру и улучшить механические свойства сплава. В целом, текущие исследования направлены на совершенствование стратегий обработки и процессов аддитивного производства для максимизации производительности и долговечности компонентов из Инконель 625 в сложных условиях [2].

Исследование Chun Guo и его коллег [3] изучает микроструктурные характеристики и межкристаллитную коррозионную стойкость суперсплавов Инконель 625, полученных с помощью аддитивного производства с использованием дуговой проволоки. Результаты подчеркивают производительность и долговечность материала, внося ценную информацию о его потенциальном применении в средах, подверженных коррозии.

Сплавы на основе никеля, такие как Инконель 625, широко используются в промышленности благодаря своим высоким эксплуатационным свойствам. Инконель 625 также демонстрирует отличную защиту от коррозии и окисления. Его способность выдерживать высокие нагрузки и широкий диапазон температур как в воде, так и без неё, а также устойчивость к коррозии в сильноокислой среде делают его подходящим выбором для конструктивных деталей, ядерной и морской промышленности, а также в горячей зоне авиационных двигателей.



Рис. 1. Накладка облицовки в трубе с помощью Инконель 625

Свойства Инконель 625 тесно связаны с микроструктурой сплава, а микроструктура контролируется термообработкой металла. Инконель 625 обычно требует термической обработки. Сплавы, упрочненные дисперсионным способом, обычно подвергаются обработке на твердый раствор и старению. Сплав, упрочняющий раствор, обрабатывается только обработкой раствором. Некоторые сплавы перед обработкой старением должны пройти одну или две промежуточные обработки. Цель обработки на твердый раствор состоит в том, чтобы растворить вторую фазу в матрице сплава, чтобы упрочняющие фазы, такие как γ и карбид (сплав на основе кобальта), могли быть равномерно выделены во время обработки старением, а во-вторых, получить соответствующий размер зерна для обеспечения свойства ползучести и разрывной ползучести при высоких температурах. Температура обработки раствором обычно составляет 1040–1220 °С. Широко используемые сплавы перед старением в основном обрабатываются при температуре 1050–1100 °С.



Рис. 2. Наплавление Инконель 625

Усовершенствованной модификацией сплава Инконель 625 является «Inconel alloy 625LCF UNS N06626», основной уникальной характеристикой которого является усталостная прочность при влиянии циклических температурных перепадов, достигающих 650 °С.

Материал Инконель 625 LCF выпускают в виде пластин, фитингов и лент. Также в прокат из этого сплава входят проволока Инконель 625, лист Инконель 625 и пр.

Список литературы

1. M. Karmuhilan, Kumanan Somasundaram. Microstructural features and corrosion behavior of Inconel 625 components fabricated using Wire and Arc Additively Manufacturing (WAAM) // *Welding International*, 2023. – V. 37. – Iss. 11. – P. 617–625.

2. A.N.M. Tanvir, MD R. U. Ahsan, Gijeong Seo, et al. Heat treatment effects on Inconel 625 components fabricated by wire + arc additive ly manufacturing (WAAM)–part 2: mechanical properties // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2020. – V. 110. – P. 1709–1721.

3. Chun Guo, Meng Ying, Hengyao Dang, et al. Microstructural and intergranular corrosion properties of Inconel 625 superalloys fabricated using wire arc additive manufacturing // *Materials Research Express*. – 2021. – V. 8, № 3.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ВНЕОСЕВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ПЕЧАТИ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Бердников Н.С.¹, Шкитов Д.А.²

¹НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. ОБМЗ1

Email: nsb20@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШФВП, к.ф.-м.н., научный сотрудник

Email: shkitovda@tpu.ru

Введение

В коллективе, работающем на микротроне ТПУ, возникла потребность в изготовлении внеосевых параболических зеркал большого диаметра. Стандартные коммерчески доступные оптические параболические зеркала, как правило, ограничены диаметром до 100 мм, например [1]. Существуют доступные технологии производства больших диаметров (до 640 мм) [2], однако по этой технологии по некоторым характеристикам (внеосевой угол, фокусное расстояние), данный способ не подходит. Также существуют подходы, развитые в силовой адаптивной оптике [3], но данный способ для поставленной задачи слишком трудоёмкий. Современные производственные технологии, как из нашего опыта видится сейчас, позволяют разработать более простую технологию изготовления подобных зеркал, например, с применением аддитивных технологий. Ранее нами были уже опробованы методы 3D-печати пластиком для изготовления спиральных мишеней [4, 5] и методы магнетронного напыления металлов на пластики [6]. Поэтому, было решено изготовить аналогичным же способом широкоапертурные внеосевые параболические зеркала. В данной работе описывается процесс проектирования данных зеркал. Для примера на рис. 1 приведены фотографии ранее использовавшегося осевых параболических зеркал из листовой меди, тестовый образец напечатанного ABS пластиком зеркала с напылением из Cu, неудавшийся пример печати, где видно внутреннее строение. Отметим, что внеосевые зеркала являются лучшим выбором, по сравнению с осевыми, в условиях, когда необходимо фокусировать излучение под углом от оси распространения регистрируемого излучения.

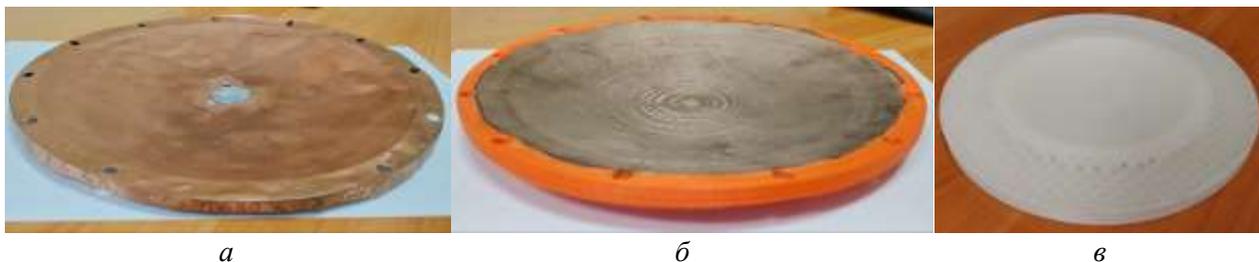


Рис. 1. Параболические зеркала:

а – старое зеркало; б – тестовый образец с напылением из Cu; в – неудачный пример печати

Проектирование моделей

Перед началом проектирования внеосевых параболических зеркал необходимо было определиться с первичными требованиями к ним. Было решено, что диаметр зеркал должен составлять 6 (152,4 мм) и 8 (203,2 мм) дюймов, полная высота зеркала не должна превышать 150 мм, а фокусное расстояние зеркала (расстояние от оптического центра зеркала до точки фокуса) должно быть больше радиуса зеркала, чтобы избежать перекрытия исходного излучения детектором, находящимся в фокусе зеркала, так как основной задачей данных зеркал является фокусировка излучения. Диаметр выбирался в дюймах, т. к. это является в определенной степени стандартом при изготовлении оптических компонентов. Также в модели зеркала должен присутствовать элемент, выполняющий функцию «бобышки», за которую зер-

кало будет крепиться. «Бобышка» имеет диаметр 2 дюйма (50,8 мм) и высоту 10 мм, под стандартный оптический держатель [7].

Для точного подбора необходимых параметров зеркала была создана специальная интерактивная схема, изображающая наибольшее по площади поперечное сечение зеркала. Созданная схема позволяет изменять такие параметры зеркала, как фокусное расстояние, угол отражения и диаметр зеркала и в реальном времени отслеживать видоизменения сечения. Схема была реализована в пакете символьной математики Wolfram Mathematica (14 версия). Параболическая кривая была построена на основе аналитических зависимостей, приведенных в [8]. На рис. 2 представлены схемы внеосевых параболических зеркал с параметрами, представленными в табл. 1. Параметры для двух моделей подобраны так, чтобы точка фокуса находилась на уровне высоты зеркала, что хорошо видно на схемах.

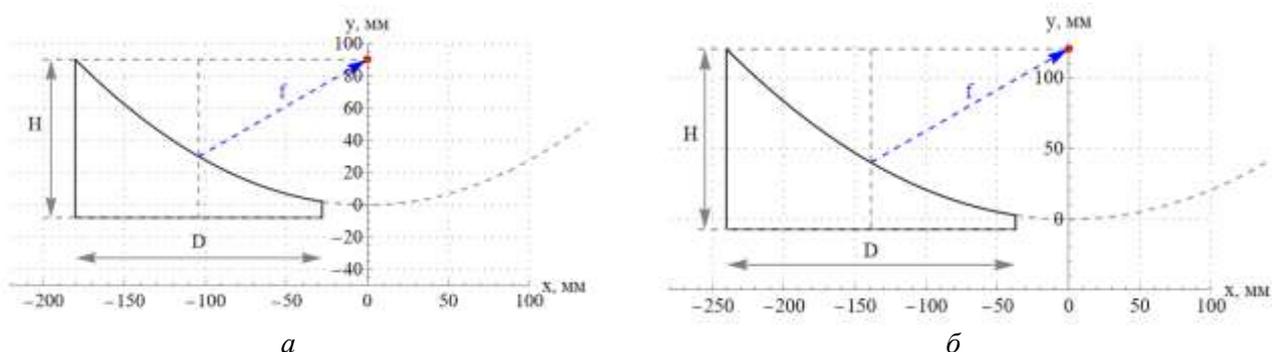


Рис. 2. Схемы моделей внеосевых параболических зеркал № 1 (а) и № 2 (б):
 f – фокусное расстояние зеркала; H – высота зеркала; D – диаметр зеркала

Таблица 2

Параметры моделей внеосевых параболических зеркал

№ модели	Диаметр зеркала	Высота зеркала	Фокусное расстояние зеркала	Угол отражения
1	152,4 мм	100,1 мм	120,2 мм	60°
2	203,2 мм	130,2 мм	160,3 мм	

Средой создания 3D-моделей внеосевых параболических зеркал выступила упомянутая выше Wolfram Mathematica. Модели зеркал создавались путем выполнения ряда логических операций с геометрическими регионами, выступающих предикатами. Ключевыми параметрами в создании моделей зеркал выступили фокусное расстояние зеркала, угол отражения и диаметр зеркала. Алгоритм создания 3D-модели зеркала можно представить в виде следующих действий:

- при помощи неравенства создаётся геометрия региона в виде параболоида вращения, фокусное расстояние которого определяется через фокусное расстояние зеркала и угла отражения;
- далее, при помощи встроенной функции Cylinder, создается цилиндр, который будет служить основным телом зеркала. Диаметр этого цилиндра тождественен диаметру зеркала;
- после создается второй цилиндр, который будет служить бобышкой, и посредством встроенной функции RegionUnion соединяется с основным цилиндром;
- в конце, из геометрического региона основного цилиндра вычитается посредством встроенной функции RegionDifference геометрический регион параболоида вращения (расположение параболоида относительно цилиндра определяется через фокусное расстояние зеркала и угол отражения);
- полученный геометрический регион экспортируется в формат STL (который является самым популярным в области 3D-печати).

На рис. 3 представлены разные вариации полученных моделей внеосевых параболических зеркал. На рис. 3, *а* модель была создана при помощи встроенной функции `DiscretizeRegion`, на рис. 3, *б* – при помощи функции `RegionPlot3D`. По внешнему виду моделей становятся очевидны преимущества и недостатки каждой из функций. `DiscretizeRegion` позволяет создать 3D-модель с четкими гранями, но не позволяет создать высоко детализированную модель. `RegionPlot3D` напротив, позволяет создать модель с высоким разрешением, но при генерировании модели её грани деформируются. К сожалению, недостатки каждой из функций не позволяют создать 3D-модель одновременно высоко детализированную и с четкими гранями. Поэтому было решено перейти в другое ПО для создания 3D-моделей внеосевых параболических зеркал.

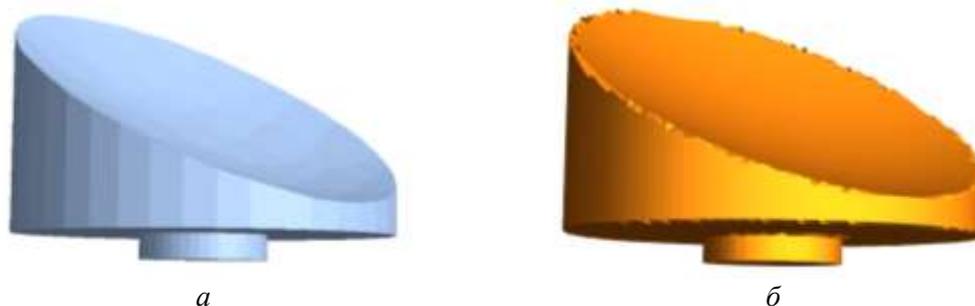


Рис. 3. 3D-модели внеосевых параболических зеркал, созданных функциями `DiscretizeRegion` (*а*) и `RegionPlot3D` (*б*)

Заключение

В данной работе описан процесс и представлен результат проектирования моделей широкоапертурных внеосевых параболических зеркал для печати методами аддитивных технологий. Для подбора параметров зеркал (фокусного расстояния зеркала, угла отражения и диаметра) в пакете `Wolfram Mathematica` была реализована интерактивная схема сечения зеркала. Далее по выбранным параметрам были созданы 3D-модели зеркал. Однако, из-за недостатков `Wolfram Mathematica` в построении высокодетализированных 3D-моделей было решено перейти в другое ПО для создания таких 3D-моделей внеосевых параболических зеркал. Отметим, что после печати необходима последующая относительно небольшая механическая обработка заготовок с помощью мелкозернистой наждачной бумаги ручным способом. После этого для сглаживания неизбежной шероховатости следует произвести обработку в парах растворителя (ацетона). После напыления также возможна полировка поверхности зеркал с помощью оптической обработки лазером [9]. Также отметим, что габариты и конструкция зеркал были согласованы с оператором магнетронного напыления.

Авторы благодарят школьников Лицея при ТПУ К.М. Шульгу и Ф.М. Байдина за создание 3D-моделей осевых параболических зеркал [10]. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ («Наука» № FSWW-2023-0003).

Список литературы

1. Внеосевые параболические зеркала // *Wavelength opto-electronics*: сайт. – URL: <https://wavelength-oe.com/laser-optics/optical-mirrors/parabolic-mirrors/> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Внеосевые параболические зеркала // *Tydex*: сайт. – URL: https://www.tydexoptics.com/pdf/ru/OAP_ru.pdf (дата обращения: 14.11.2024).
3. Шанин О.И. Широкоапертурная силовая адаптивная оптика // *Фотоника*. – № 1/31. – 2012. – С. 24. – URL: https://www.photonics.su/files/article_pdf/3/article_3112_923.pdf.
4. Бердников Н.С., Григорьева А.А. Поиск технологий по созданию спиральных мишеней для генерации излучения с винтовым волновым фронтом от электронного пучка / науч. рук. Д.А. Шкитов // *Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных*

трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25–28 апреля 2023 г.: в 7 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – Т. 1 : Физика. – С. 66–68. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54398393>.

5. Бердников Н.С., Шкитов Д.А. Особенности проектирования спиральных мишеней для генерации излучения с дислокацией волнового фронта от электронного пучка // Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения: сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – С. 347–349. – URL: <https://mt.tpu.ru/archive/2023/>.

6. Семенов В.А., Работкин С.В., Гренадеров А.С., Соловьев А.А., Бердников Н.С., Шевелёв М.В., Шкитов Д.А. Металлизация методом магнетронного напыления пластин из пластика, изготовленных на 3D-принтере // Materials. Technologies. Design. – 2023. – Т. 5, № 3(13). – С. 99–108. – Режим доступа: <http://journal.ugatu.su/index.php/mtd/article/view/3706/3156>.

7. 5MBM24 Держатель зеркал // Vicon-SE: сайт. – URL: https://vicon-se.ru/catalog/reguliruemye_derzhateli_optiki/derzhateli_s_regulirovkoj_po_2_3_osyam/derzhatel_zerkal/.

8. Chen L., Gao Z., Xu N., Cao X., Zhang J., Wang L., Ye J., Yuan Q. Construction of freeform mirrors for an off-axis telecentric scanning system through multiple surfaces expansion and mixing // Results in Physics. – 2020. – V. 19. – 103354. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379720318210>.

9. Хузнахметов Р.М., Вологжанина С.А., Амяга Д.В., Рамос Веласкес А. Разработка технологии полирования поверхности изделий из латуни с помощью импульсного инфракрасного волоконного лазера // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 260–263. – URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/77361>.

10. Байдин Ф., Шульга К. Проектирование параболических зеркал для использования при регистрации излучения в ГГц диапазоне частот // Юные исследователи – науке и технике: сборник трудов XXV Всероссийской конференции-конкурса Исследовательских работ старшеклассников «Юные исследователи – науке и технике». – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 81–84. – URL: <https://school-conf.tpu.ru/archive/2024/>.

ПЕЧАТЬ МЯСА В КОСМОСЕ

Будницкая А.И.

¹*Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 4А12,
e-mail: aib48@tpu.ru;*

В современном мире идет активное развитие технологий, конечно, это не обошло стороной и космос. Сначала были просто 3D-принтеры, затем выяснялось, что можно печатать в невесомости, а совсем недавно стало известно, что в космосе можно печатать мясо.

В процессе изучения биопринтеров и при работе на них выяснилось, что биопринтер «Орган.Авт» может производить искусственно культивированное мясо, полноценные структурированные волокна. Культивированное мясо – мясо, которое выращивается в лабораторных условиях в виде культуры клеток, не являющееся частью живого животного.

Принцип работы биопринтера «Орган.Авт» основан на воздействии переменного магнитного поля на биоматериалы, используемые в качестве строительных блоков. Процесс печати: биоматериалы помещаются в специальных кюветах в биопринтер. В присутствии специальных материалов – парамагнетиков – они начинают отталкиваться от магнитов, а затем концентрироваться в центре так называемой «магнитной ловушки». Под действием магнитного поля сфероида собираются в центре кюветы и удерживаются там до тех пор, пока не произойдет их слияние друг с другом и формирование единого конструкта. Таким образом, механизм работы напоминает лепку снежка: магнитные волны внутри принтера воздействуют на клетки сразу с нескольких сторон, чтобы сформировать из них фрагмент живой ткани.

Не так давно, был проведен эксперимент для биопечати на борту МКС, который непосредственно заключался в использовании клеток коровы. В результате чего удалось получить несколько миллиметров, которые являются фрагментом мышечной ткани. Это был первый подобный опыт выращивания животной пищи в космосе. Похожее эксперименты проводили ранее только с растениями. Как выразился Хесуани – «Маленький кусочек для человека, но большой кусок для всего человечества».

Пока данное мясо сравнивать с мировой индустрией промышленного животноводства, так как количество продуктов, используемое для производства, невозможно сравнивать. Если сравнивать традиционное животноводство и создание искусственного мяса в перспективе, негативного влияния на окружающую среду во втором случае будет меньше, так как современное животноводство сопровождается выбросами парниковых газов и убийством животных.

Различие между выращиванием обычного мяса и биопринтинга, во-первых, в структуре продукта, так как в результате биопринтинга получаются мышечные волокна, во-вторых, в необходимости питательной среды. Непосредственно для биопечати клеткам нужна только вода, в отличие от обычного мяса.

Конечно, технология биопечати мяса стоит дорого, но со временем проводить эксперименты с биопринтингом становится все дешевле, находят новые пути. Юсеф Хесуани сказал: «Когда это стоило космических денег, мы делали это на земле, а когда стало стоить земных денег, стали делать в космосе».

Если когда-нибудь цена килограмма «инженерного» мяса действительно станет сравнима с ценой обычной говядины, биотехнологическая новинка может попасть на стол рядового потребителя.

Но самое главное, что это можно использовать в космосе самим космонавтам, которым достаточно будет нагреть воду, окружающую выращенные образцы, чтобы их приготовить. Однако на счет вкуса такого мяса, он будет отличаться от обычной говядины, так как в ней присутствуют не только клетки мышечной ткани, но и ткани соединительные и жировые.

В будущем технология биопечати мяса может использоваться, например, в космических программах колонизации Луны и Марса, так как люди не будут зависеть от земных ис-

точников пищи. Говорят, что эти клетки очень хорошо растут, условно из ста клеток, космонавты могут получить сто миллионов клеток.

В заключении хотелось бы сказать, что данная технология будет активно развиваться, космонавтам теперь не нужно будет брать с собой столько еды, так как они сами могут это ее сделать в космосе.

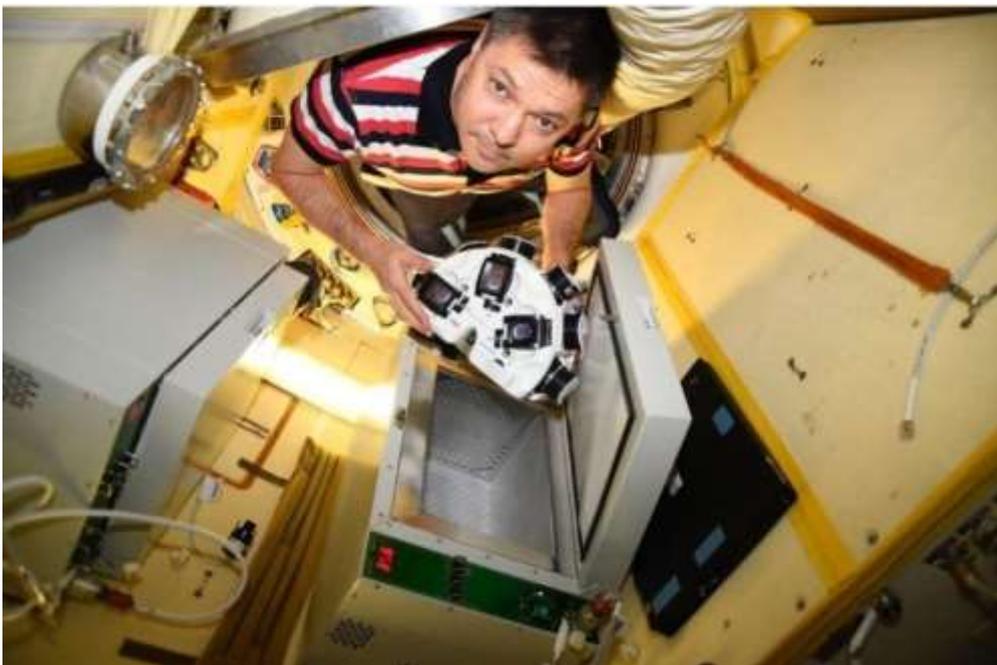


Рис. 1. Биопринтер «Орган.Авт»



Рис. 2. Биопринтер «Орган.Авт» на МКС

Список литературы

1. На МКС провели эксперимент по 3D-печати мяса: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/na-mks-proveli-eksperiment-po-3d-pechati-myasa>.
2. Юсеф Хесуани: мы напечатали говядину в космосе, но не пробовали ее: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bfm.ru/news/428129>.
3. Как работает и для чего нужна 3D-биопечать в космосе: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://snob.ru/entry/183903/>.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ИНТЕГРАЦИИ АККУМУЛЯТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

Вагнер А.М.¹

¹*НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8Т21,*

e-mail: amv15@tpu.ru

Введение

С развитием электромобилей потребность в безопасных и энергоэффективных аккумуляторных системах стала особенно актуальной. Производство и сборка высоковольтных аккумуляторов требуют внедрения передовых технологий для обеспечения их долговечности, надежности и безопасности. Внедрение твердотельных и литий-железо-фосфатных (LiFePO₄) аккумуляторов представляет собой значительный шаг вперед в этом направлении. Также основным направлением развития становится внедрение технологий, позволяющих динамически адаптировать характеристики аккумуляторов под конкретные условия эксплуатации.

Твердотельные и LiFePO₄ аккумуляторы: характеристики и преимущества

Твердотельные аккумуляторы отличаются от традиционных литий-ионных наличием твердого электролита, что повышает их безопасность и плотность энергии. Твердый электролит устойчив к перегреву, предотвращает короткие замыкания, и позволяет увеличить запас хода автомобиля. Такие аккумуляторы уже активно исследуются и тестируются на производственных мощностях Toyota и Volkswagen, которые видят в них потенциал для улучшения эксплуатационных характеристик.

LiFePO₄ аккумуляторы, в свою очередь, выгодно отличаются стабильностью и устойчивостью к перегреву, что снижает риск самовозгорания, и они требуют меньше обслуживания по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами. Благодаря своей стабильности, LiFePO₄ аккумуляторы уже используются в моделях китайских производителей, таких как BYD, Zeekr, обеспечивая более длительный срок службы и надёжность.

Динамическая адаптация аккумуляторов: новая ступень развития

Системы динамической адаптации аккумуляторов становятся одним из ключевых направлений в развитии технологий для электромобилей. Их цель – повысить эффективность и долговечность батарей, минимизируя негативные воздействия внешней среды и эксплуатационных нагрузок. Для достижения максимальной эффективности аккумуляторных систем в электромобилях активно разрабатываются системы динамической адаптации, основанные на использовании датчиков, искусственного интеллекта (ИИ) и интернета вещей (IoT).

Основные элементы системы: сбор данных, анализ и адаптация, интеграция с системой управления автомобилем.

Датчики собирают информацию о температуре окружающей среды, уровне заряда, интенсивности разрядки, частоте ускорений и торможений. Дополнительно учитываются дорожные условия и маршрут, полученные через навигационные системы. Алгоритмы ИИ обрабатывают данные в реальном времени и вносят корректировки в работу аккумуляторов: распределение нагрузки между ячейками, оптимизация процесса зарядки или активация системы охлаждения. Например, в условиях холода система автоматически подогревает батарею для поддержания её максимальной эффективности или, если ожидается длительный подъем или пробка, алгоритм адаптирует уровень энергопотребления, снижая его. Аккумуляторная система взаимодействует с другими компонентами электромобиля, включая моторы, тормозную систему и климат-контроль.

Динамическая адаптация аккумуляторов должна внедриться в автомобили, которые работают при экстремально низких или высоких температурах. Электромобили, или же гибридные автомобили, получают возможность адаптировать работу батареи, предотвращая снижение ее емкости и увеличивая надежность. Также эта система может быть сильно вос-

требуется в такси или для коммерческого транспорта. Электрические грузовики и автобусы смогут динамически перераспределять нагрузку, поддерживая оптимальную производительность при длительных поездках и высоких нагрузках.

Системы динамической адаптации аккумуляторов под условия эксплуатации уже находятся в стадии разработки у ведущих автопроизводителей. BMW, Volkswagen, Tesla, Toyota внедряют в свои электрические модели системы, которые регулируют расход энергии в зависимости от стиля вождения, состояние дороги, температуры окружающей среды, маршрута.

Заключение

Внедрение систем динамической адаптации аккумуляторов является ключевым этапом в развитии электромобильной индустрии. Эти технологии обеспечивают гибкость и надежность работы аккумуляторов в любых условиях, увеличивая их срок службы и делая электромобили более конкурентоспособными. Интеграция адаптивных решений вместе с твердотельными и LiFePO₄ аккумуляторами открывает путь к созданию нового поколения безопасных, энергоэффективных и экологически устойчивых автомобилей Ресурсы удаленного доступа.

Список литературы

1. Как устроена батарея электромобиля // Auto.ru. – 2024. – URL: https://auto.ru/mag/article/kak-ustroena-batareya-elektromobilya/?ysclid=m3bh1rvzu8356172512&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 7.11.2024).
2. Electric vehicle battery // Wikipedia. – 2024. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery (дата обращения: 9.11.2024).
3. Что нужно знать о батарее электромобиля // AvtoCharge. – 2024. – URL: <https://avtocharge.ru/chto-nuzhno-znat-o-bataree-elektromobilya/> (дата обращения: 10.11.2024).
4. Типы батарей электрокаров // Zencar. – 2024. – URL: <https://zencar.by/typy-batarej-elektrokarov> (дата обращения: 10.11.2024).
5. Зеекр 001 обновился: новая батарея на 95 кВтч позволит проехать до 722 км // SpeedMe. – 2024. – URL: <https://speedme.ru/posts/id-62697-zeekr-001-obnovilsja-novaja-batareja-na-95-kvtch-pozvolit-proehat-do-722-km> (дата обращения: 10.11.2024).

МАТЕРИАЛЫ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ: ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Шкитов Д.А.¹, Волков М.И.²

¹НИ ТПУ, ИШФВП, к.ф.-м.н., научный сотрудник

e-mail: shkitovda@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШФВП, гр. А3-05, аспирант

e-mail: miv5@tpu.ru

Понятие «ускорительная техника» включает в себя комплекс научно-технических проблем [1], связанных с теорией, расчётом, проектированием, изготовлением и эксплуатацией всех типов ускорителей заряженных частиц. Ускорители – это электрофизические устройства, которые разгоняют частицы до определённого уровня энергии. Они являются источниками пучков, как первичных ускоренных заряженных частиц (электронов, протонов, ионов), так и вторичных частиц (мезонов, нейтронов, фотонов, атомов и др.), получаемых при взаимодействии первичных частиц с мишенью. Любая ускорительная установка включает 3 основных структурных элемента [2]: источник частиц с системой формирования пучка, собственно ускоритель – устройства, увеличивающие энергию частиц, и устройства, осуществляющие вывод и транспортировку пучка на мишень, взаимодействие пучка с внутренней мишенью или соударение встречных пучков в ускорителе.

Ускорители заряженных частиц одни из основных инструментов современной ядерной физики и физики элементарных частиц [3, 4]. Многие учёные указывают на большую роль ускорителей в современном мире, см. [1]. Ускорители находят применение в разных областях, например: в биологии для изучения структуры молекул и ферментов; в медицине изотопы, изготовленные на ускорителях, используются для лечения и диагностики; в микроэлектронике для облучения чипов ускоренными ионами определённых видов; в космической технике для тестирования электронных приборов на устойчивость к космическому излучению; в сельском хозяйстве электронные ускорители облучают зерно, очищая его от микропатогенов.

Современные ускорители требуют использования множества различных материалов, и применения почти всего спектра развитых к настоящему времени современных производственных технологий. Это наглядно можно продемонстрировать на примере установки СКИФ (Кольцово, Новосибирская область) [5], находящейся сейчас на финальной стадии реализации. На рис. 1 представлено оборудование части линейного ускорителя установки СКИФ.



Рис. 1. Сборка оборудования линейного ускорителя установки СКИФ [6]

Необходимы следующие основные материалы: изолированные медные провода, листовые стали и сплавы, железо и компанды различных типов (для магнитных элементов), медные сплавы, микроволновая керамика, сегнетоэлектрические материалы (для ускоряющих структур), стекло, кварц, сапфир, различные стали (для вакуумных камер). Безусловно, разнообразие, используемых материалов при изготовлении ускорителей, этим списком не ограничивается, приведены только некоторые и только для ряда основных систем. Для размещения основных систем используются опорные конструкции (синие подставки на рис. 1) и различного типа профилированные изделия (серые конструкционные профили на рис. 1). Они же применяются для различных систем диагностики параметров пучков ускорителей. Например, на рис. 2, *а* изображена модель станции диагностики с опорными конструкциями, оптическим столом и различными оптомеханическими компонентами. На рис. 2, *б* показана фотография монитора, видны используемые конструкционные профили, оптические столы, оправа для оптических зеркал, поворотные механизмы и т. д. В рамках проекта по разработке станций диагностики параметров пучков электронов различных энергий на основе синхротронного и переходного излучений в данной работе произведён краткий обзор и подбор конструкционных профилей, которые могут быть применены при разработке таких станций диагностики.



Рис. 2. Станция оптической диагностики [7] (а); монитор когерентного излучения [8] (б)

Конструкционные профили, как правило, из алюминия – это стержневые системы различного сечения и несущей способности. Для производства профилей наиболее распространённым сплавом является алюминиевый материал марки АД31. Из алюминиевого профиля собирают каркасные системы различного назначения, в том числе лабораторные и испытательные установки. Несомненные преимущества таких профилей, важные для решения задач проекта, это: быстрота сборки без необходимости выполнения сварочных работ и применения специальных навыков; простота механической обработки; стойкость к коррозии и деформации; возможность модернизировать конструкцию. В настоящее время на производстве изготавливают различные серии профилей, стандартно, по размеру от 20-й до 60-й серии [9], и на рынке представлена продукция самых разных производителей. Для разработки станций диагностики была выбрана «серия 40» квадратного и прямоугольного сечения, которая является одной из самых популярных благодаря своей универсальности. Эта серия применяется для создания различных каркасов, обеспечивая прочность и устойчивость даже при значительных нагрузках. Эта серия профилей с расстоянием между центрами пазов 40 мм и шириной паза 10 мм (см. рис. 3). Форма паза выбрана Т-образной, которая широко используется для сборки различных конструкций и систем, где требуется гибкость и возможность быстрой настройки. Согласно ГОСТ 22233-2018 длина конструкционного профиля серии 40 может составлять 6020 мм. Необходимая длина отрезается в зависимости и согласно проекту конкретной станции диагностики.



Рис. 3. Изображение профиля 40×40 (слева), чертеж профиля 40×40 (справа)

Существуют профили с покрытием и без него. Профиль с покрытием более прочный, надёжный и долговечный, он защищает от последствий окисления и ультрафиолетовых лучей, сохраняет привлекательный вид материала длительное время, и служит 30–50 лет (срок службы профиля без покрытия в 2 раза меньше). Было бы лучшим выбором в пользу профиля с покрытием, т. к. условия эксплуатации предполагают наличие ионизирующего излучения, однако можно использовать профиль и без покрытия, поскольку высокие требования к эстетичности конструкции в нашем случае не предъявляются. Профили одной серии и одного размера могут иметь разную площадь сечения, что определяет массу и прочностные характеристики профиля. Минимальная и максимальная массы профиля 40-й серии размером 40×40 мм составляет от ~1 кг до ~2 кг на погонный метр. Номенклатура для сборки конструкций, поставляемых в минимальных наборах, состоит из следующих элементов: профили, угловые соединители, Г-образные соединители, винты, Т-гайки, шайбы

Таким образом, можно сделать вывод, что современная промышленность производит большое разнообразие конструкционных профилей, и под решение каждой конкретной задачи можно подобрать подходящие профили и требуемые комплектующие. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (программа «Наука» № FSWW-2023-0003).

Список литературы

1. Лагутин А.Е., Лагутина Ж.П. Ускорительная техника: проблемы и пути развития // Материалы 9-ой Межд. конф. «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, Беларусь. – С. 417. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/28091/1/Лагутин.pdf>.
2. Ускорители заряженных частиц // БРЭ. – 2023. – URL: <https://bigenc.ru/c/uskoriteli-zariazhennykh-chastits-1d2f47>.
3. Ускорители в нашей жизни // Газета «Встреча». – 2013. – URL: <https://www.dubnapress.ru/science/3657-2013-03-14-08-25-15>.
4. Ускорители заряженных частиц: от опытов Резерфорда к Большому адронному коллайдеру // Платформа ПостНаука. – 2020. – URL: <https://postnauka.org/longreads/156125>.
5. Технологическая инфраструктура Сибирского кольцевого источника фотонов «СКИФ» // эл. сб. статей под общей редакцией К.И. Шефер. – 2022. – Т. 2.
6. Установлена половина оборудования линейного ускорителя СКИФ // Telegram. – 2024. – URL: <https://t.me/srfskif/709>.
7. Дорохов В.Л., Мешков О.И., Стирин А.И., Смыгачева А.С. Развитие интерферометрического метода измерения поперечных размеров пучка частиц в циклических ускорителях // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2023. – Т. 20, № 5 (250). – С. 1181–1192.
8. Grimm O. Coherent Radiation Diagnostics for Short Bunches // Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA. – 2007. – P. 2653.
9. Разновидности конструкционных профилей // ООО «Промышленный Конструктор»: сайт. – 2024. – URL: <https://promprof.ru/company/articles/60011/>.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Груздев А.А.
НИ ТПУ, ИШИТР, студент,
e-mail: aag159@tpu.ru

Введение

В последние десятилетия аддитивные технологии, также известные как 3D-печать, стали неотъемлемой частью современной инженерии и производства в целом. Эти технологии представляют собой процесс создания физических объектов путем последовательного нанесения материалов, что резко контрастирует с традиционными методами, основанными на резьбе или литье. Аддитивные технологии впервые начали развиваться в 1980-х годах и с тех пор претерпели значительные изменения, расширив свои возможности и области применения. Главным преимуществом аддитивных технологий является их способность создавать сложные геометрические формы, которые зачастую невозможно или экономически нецелесообразно изготавливать традиционными методами. Это позволяет инженерам и дизайнерам разрабатывать более легкие, прочные и оптимизированные конструкции, что особенно важно для таких отраслей, как авиация и автомобилестроение, где важен каждый грамм.

Основная часть

Аддитивные технологии, или 3D-печать, работают на основе принципа послойного создания объектов. В отличие от традиционных методов производства, таких как вырезание или литье, аддитивные технологии позволяют строить изделия, начиная с нуля, добавляя материал слой за слоем. Это открывает новые горизонты для проектирования и производства, позволяя создавать детали с высокой степенью сложности и точности. Среди наиболее популярных методов можно выделить Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA) и Selective Laser Sintering (SLS). В методе FDM используется термопластический материал, который нагревается и выдавливается через сопло, формируя объект по заданной модели. Этот метод прост в использовании и широко распространен как в промышленности, так и в домашних условиях, позволяя производить как прототипы, так и готовые изделия.



Рис. 1. FDM печать

SLA, в свою очередь, применяет жидкую фотополимерную смолу, которая затвердевает под действием ультрафиолетового света. Этот метод обеспечивает высокую точность и гладкость поверхности изделий, что делает его идеальным для создания сложных форм и деталей, требующих высокой детализации, таких как стоматологические и ювелирные изделия.

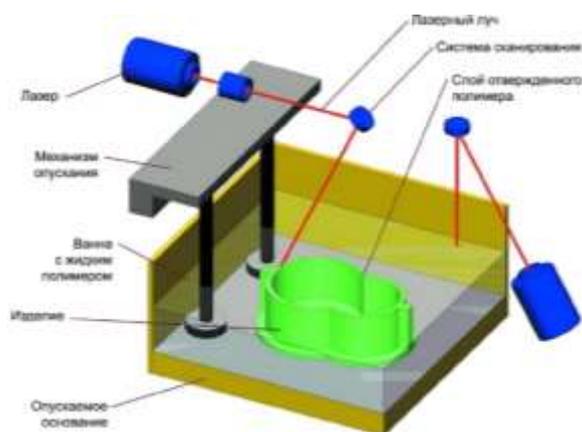


Рис. 2. SLA печать

Метод SLS работает с порошковыми материалами, которые сплавляются лазером. Это позволяет использовать широкий спектр материалов, включая различные металлы и пластики, что делает его подходящим для создания функциональных деталей и компонентов, требующих высокой прочности.

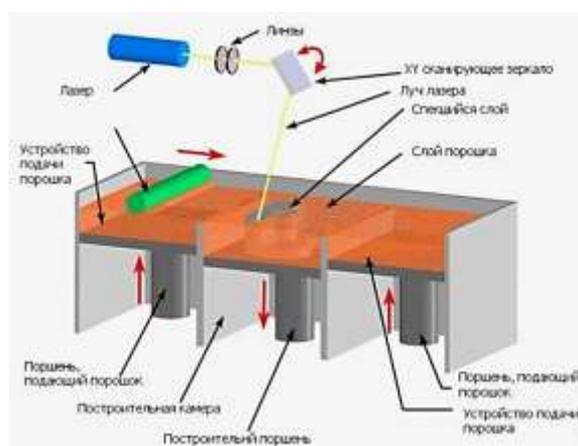


Рис. 3. SLS печать

Заключение

Будущее аддитивных технологий выглядит многообещающим. Постоянное развитие новых материалов, улучшение методов печати и интеграция с другими технологиями, такими как искусственный интеллект и робототехника, открывают новые возможности для повышения эффективности и оптимизации производственных процессов. Например, использование ИИ может помочь в автоматизации проектирования и улучшении качества изделий, а роботизация процессов 3D-печати позволит увеличить скорость производства и снизить затраты. Внедрение аддитивных технологий в массовое и устойчивое производство станет важным шагом для машиностроительной отрасли, способствуя созданию более эффективных и экологически чистых производственных процессов.

Список литературы

1. Кузнецов В.Е. CAD/CAM/CAE Observer. 2003. № 4 (13). С. 2–7.
2. Rombouts M., Kruth J.P., Froyen L. and Mercelis P. // Manufacturing Technology, 2006. – V. 55. – I. 1. – P. 187–192.
3. Hao L., Dadbakhsh S., Seaman O., Felstead M. // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – V. 209. – I. 17.9. – P. 5793–5801.
4. ASM Metals HandBook Vol. 1. Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys. ASM International, 2002. – 2521 p.

НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

Дин Ц.¹, Козлов В.Н.², Семёнов А.Р.³

¹ НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. А4-47,

e-mail: czezhu1@tpu.ru;

² НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

³ Томский государственный университет, младший научный сотрудник

лаборатории нанотехнологий металлургии,

e-mail: artems2102@yandex.ru

Фрезы с механическим креплением круглых сменных многогранных пластин (СМП) широко применяются для обработки труднообрабатываемых материалов (рис. 1, а). Расчёт на прочность таких пластин выполняется приложением контактных напряжений, действующих на передней поверхности неизношенных СМП, на их 3-D модель (рис. 1, б). Определение распределения контактных напряжений на зубе фрезы является сложной задачей, поэтому предлагается прикладывать эпюры, которые были получены при точении [1, 2].

Для этого часть криволинейной режущей кромки разделяется на несколько секторов, внутри каждого из которых прикладываются эпюры, соответствующие толщине среза a_i в середине рассматриваемого сектора (рис. 1, в). Условия обработки стали 40Х13: диаметр фрезы $d_{фр} = 40$ мм, диаметр круглой СМП $d_{смп} = 12$ мм, глубина фрезерования $t = 0,2$ мм, ширина фрезерования $B = 1$ мм.

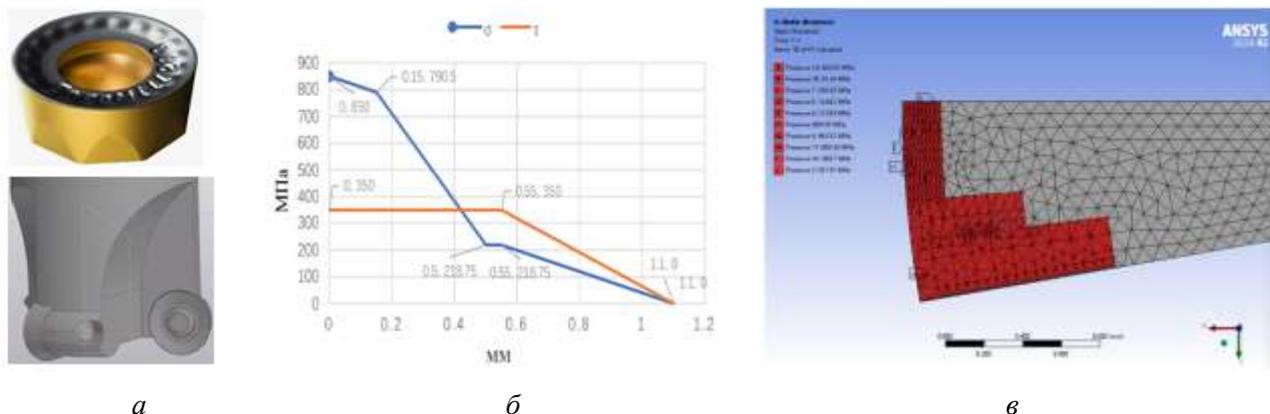


Рис. 1. Фреза с механическим креплением круглых СМП (а); эпюры нормальных σ и касательных контактных напряжений в главной секущей плоскости в середине i -го сектора (б); приложение контактных напряжений на секторах передней поверхности круглой СМП при обработке стали (в)

Распределение эквивалентных напряжений в круглой СМП при выходе СМП из контакта с заготовкой при встречном фрезеровании представлено на рис. 2. Зона с наибольшей величиной эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв max}} = 1190$ МПа находится на главной режущей кромке вблизи контакта с обрабатываемой поверхностью. Её окружает зона с немного меньшими напряжениями $\sigma_{\text{экв}} = 1058\text{--}952$ МПа, что говорит о существенном объёме СМП (около 0,25 мм) с достаточно большими напряжениями, что говорит о вероятности выкрашивания режущей кромки в этой области.

Расчёт относительной деформации СМП позволяет определить режимы фрезерования, при которых не будет происходить отслаивание износостойкого покрытия, для которых критическим значением является не напряжение в основном материале режущего инструмента, а деформации поверхностного слоя [3, 4, 5].

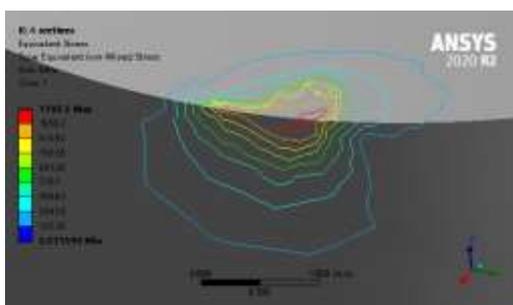


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ (МПа) в круглой СМП при фрезеровании стали 40X13 с подачей $s_z = 0,0174$ мм/зуб

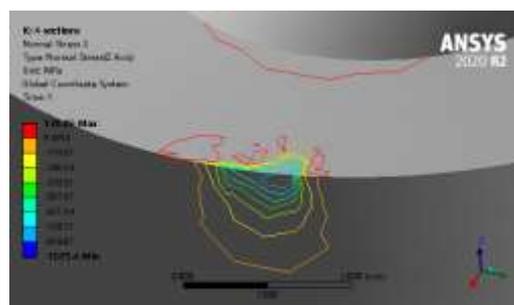


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений в направлении оси Z σ_z (МПа), $s_z = 0,0174$ мм/зуб.

На расстоянии 0,8 мм от режущей кромки эквивалентные напряжения существенно уменьшаются до 132 МПа, причём уменьшение идёт интенсивнее по передней поверхности.

Это предопределяет более интенсивный износ круглой СМП по задней поверхности с образованием фаски износа по задней поверхности.

Среди нормальных напряжений наибольшую величину имеет напряжение в направлении оси OZ ($\sigma_z \max = -1025$ МПа), которая перпендикулярна передней поверхности и совпадает с направлением скорости резания v (м/мин).

В области режущей кромки действуют сжимающие напряжения (нормальные контактные напряжения были направлены против оси OZ), но от неё начинается область небольших растягивающих напряжений до 138 МПа, что говорит о достаточном запасе прочности на растяжение у твёрдого сплава, из которого сделана СМП, при небольшой подаче $s_z = 0,0174$ мм/зуб.

Полученные данные расчёта НДС с использованием программы ANSYS позволяют выбрать режимы фрезерования для обеспечения наибольшей производительности обработки при сохранении надёжности работы режущего инструмента.

Список литературы

1. Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р. Методы исследования процесса стружкообразования при обработке конструкционных сталей / В.Н. Козлов, А.С. Бабаев, А.Р. Семёнов // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2024. – С. 217–222. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77437>.
2. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13, Iss. 12. – Article number 2009, 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
2. Generalized modelling of cutting tool geometries for unified process simulation / Z.M. Kilic, Y. Altintas // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2016. – Vol. 104 – P. 14–25. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2016.01.007.
3. Real-time determination of cutting force coefficients without cutting geometry restriction / B. Tukora, T. Szalay // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2011. – Vol. 51 – No. 12. – P. 871–879. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.08.003.
4. Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations / M. Kaymakci, Z.M. Kilic, Y. Altintas // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2012. – Vol. 54–55. – P. 34–45. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.12.008.
5. Effects of cutting edge radius on cutting force, tool wear, and life in milling of SUS-316L steel / D. Lv, Y. Wang, X. Yu // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2020. – Vol. 111. – P. 2833–2844. – DOI: 10.1007/s00170-020-06286-7.

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЗКИ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА НА НДС РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Дин Ц.¹, Козлов В.Н.², Цао С.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А4-47,

e-mail: czechul@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОмШ,

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, магистрант гр. 4АМ41,

e-mail: 19353026461@163.com

Для расчёта на прочность **неизношенного** режущего инструмента необходимо в качестве внешней нагрузки на передней поверхности прикладывать не сосредоточенные технологические (P_z , P_y и P_x) или физические (N и F) составляющие силы резания, а распределённые **нормальные σ** и **касательные τ** контактные напряжения. При этом необходимо знать законы их распределения (диаграммы, графики или **эпюры** контактных напряжений).

Для изучения распределения контактных напряжений используется метод разрезного резца [1–8]. Первоначально получаются ступенчатые диаграммы (гистограммы) распределения **удельных контактных нормальных q_{Ni}** и **касательных q_{Fi}** нагрузок (Н/мм², или МПа, принимая во внимание что 1 Н/мм² = 1 МПа), т. е. сил N и F , приходящихся на один квадратный миллиметр **площади** передней поверхности контакта стружки с передней поверхностью (рис. 1). При этом $q_{Ni} = \Delta N_i / (\Delta x_{ci} \cdot b)$, $q_{Fi} = \Delta F_i / (\Delta x_{ci} \cdot b)$, где ΔN_i и ΔF_i – изменение **нормальных** и **касательных** сил (приращение сил) (Н) на участке длиной Δx_{ci} (мм) на пластине B , b – ширина контакта стружки с передней поверхностью (мм).

Чем меньше **приращение** длины контакта стружки с поверхностью основной измерительной пластины B разрезного резца Δx_{ci} (мм) [3], тем выше точность формы графиков (**эпюр**) **нормальные σ** и **касательные τ** контактные напряжения.

Графики этих контактных напряжений получаются проведением линий через **середины** ступеней соответствующей гистограммы (рис. 1).

Анализ гистограмм и полученных графиков σ и τ показывает, что эпюру касательных τ контактных напряжений можно немного упростить, принимая, что на длине $c_1 = 0,5 \cdot c$ от режущей кромки график τ проходит параллельно передней поверхности резца, т. е. $\tau_{\max} = \tau_{\text{const}}$ (рис. 2).

Для упрощения задачи приложения внешней нагрузки к 3D-модели режущего инструмента при расчёте напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина принимают следующие виды внешней нагрузки:

1. Принимается, что прикладываются силы в виде технологических сил P_z , P_y и P_x , т. е. без учёта величины переднего угла γ , действующие на ограниченной площади шириной b и длиной $0,2 \cdot c$ на расстоянии $0,3 \cdot c$ от режущей кромки (рис. 3). Такой выбор места приложения сил обусловлен их приложением в центре действия сил, определяемый в основном распределением нормальных контактных напряжений и который будет расположен ближе к режущей кромке согласно рис. 1 и 2. Для предотвращения эффекта концентрации нагрузки они обычно распределяются на небольшой площади, поэтому рассчитываются удельная тангенциальная нагрузка $q_{P_x} = P_x / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая вертикально, и удельная горизонтальная нагрузка $q_{P_y} = P_y / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая в горизонтальной плоскости (в основной плоскости) Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

При дальнейшем отдалении от режущей кромки график τ прямо пропорционально уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности, т. е. при $x = c$.

Такая форма графика τ позволяет использовать формулу $\tau_{\text{const}} = \tau_{\max} = F / (0,75 \cdot c \cdot b)$ для расчёта величины **касательных** контактных напряжений на первой половине контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента.

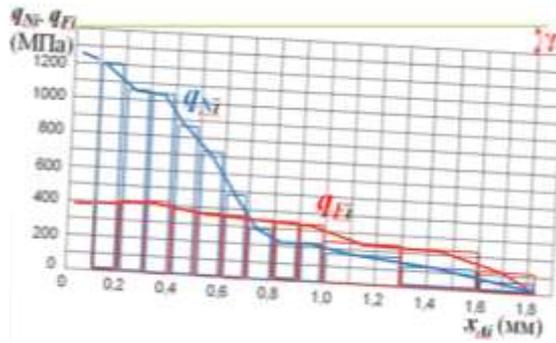


Рис. 1. Гистограммы удельных касательной q_{Fi} и нормальной q_{Ni} сил (МПа) на i -м участке пластины В. Абсцисса – расстояние от режущей кромки x_{Ai} (мм). Сталь 40Х–Т15К6, $\gamma = +7^\circ$; $v = 120$ м/мин; $a = s = 0,368$ мм; $b = 4$ мм; $c = 1,844$ мм; $c_1 = 0,922$ мм; $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н

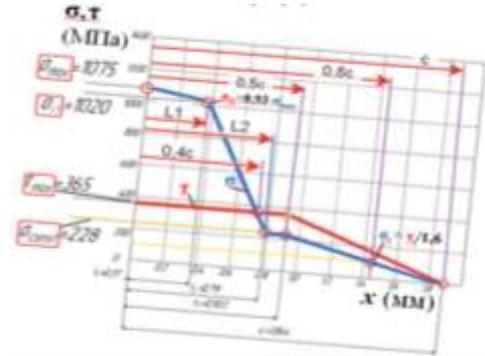


Рис. 2. Эпюры касательных τ и нормальных σ контактных напряжений (МПа) на передней поверхности реза. Абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль передней поверхности реза в главной секущей плоскости x (мм). Сталь 40Х–Т15К6, $\gamma = +7^\circ$; $v = 120$ м/мин; $a = s = 0,368$ мм; $b = 4$ мм; $c = 1,844$ мм; $c_1 = 0,922$ мм; $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н

Форма графика нормальных σ контактных напряжений более сложная (рис. 1 и 2), и требуется тщательный анализ для его построения.

2. Принимается, что прикладываются силы в виде физических составляющих силы резания N и F , т. е. с учётом величины переднего угла γ , действующих на ограниченной площади шириной b и длиной $0,2 \cdot c$ на расстоянии $0,3 \cdot c$ от режущей кромки (рис. 4). Для предотвращения эффекта концентрации нагрузки они обычно распределяются на небольшой площади, поэтому рассчитываются удельная нормальная нагрузка $q_{N \text{ сопр}} = N / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая перпендикулярно передней поверхности, и удельная касательная нагрузка $q_{F \text{ сопр}} = F / (0,2 \cdot c \cdot b)$, действующая вдоль передней поверхности. Физические составляющие рассчитываются по уравнениям (1) и (2) при положительном переднем угле γ согласно рис. 5;

$$N = N_{Pz} - N_{Py} = P_z \cdot \cos \gamma - P_y \cdot \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{Py} + F_{Pz} = P_y \cdot \cos \gamma + P_z \cdot \sin \gamma. \quad (2)$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

3. Принимается, что прикладываются нагрузки в виде равномерно распределённых удельных физических составляющих силы резания (см. рис. 6). Они рассчитываются по формулам:

$$q_N = N_{\text{эксп}} / (c \cdot b),$$

$$q_F = F_{\text{эксп}} / (c \cdot b);$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

4. Принимается, что прикладываются нормальные контактные нагрузки в виде треугольника, а касательные – в виде равномерно распределённых (рис. 7). Последние имеют небольшую величину по сравнению с нормальными и поэтому ошибки будет небольшая, что позволяет упростить расчёт и построение эпюры. Основные параметры эпюр рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{\text{max}} = N_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b); \quad \tau_{\text{const}} = F_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b);$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_{y \text{ эксп}} = 1623$ Н; $P_{z \text{ эксп}} = 3061$ Н; $F_{\text{эксп}} = 2014$ Н; $N_{\text{эксп}} = 2837$ Н.

5. Принимается, что прикладываются нормальные контактные нагрузки в виде треугольника, а касательные – в виде эпюр, форма которой экспериментально выявлена (рис. 1, 3, 8). Основные параметры эпюр рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{\max} = N_{\text{эксп}} / (2 \cdot c \cdot b);$$

$$\tau_{\text{const}} = F_{\text{эксп}} / (0,75 \cdot c \cdot b).$$

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_y_{\text{эксп}} = 1623 \text{ Н}$; $P_z_{\text{эксп}} = 3061 \text{ Н}$; $F_{\text{эксп}} = 2014 \text{ Н}$; $N_{\text{эксп}} = 2837 \text{ Н}$.

6. Принимается, что контактные нагрузки прикладываются в виде эпюр, форма которых экспериментально выявлена (рис. 1, 2). Основные параметры эпюр указаны на рис. 2.

Рассматриваем вариант из рис. 2, когда $P_y_{\text{эксп}} = 1623 \text{ Н}$; $P_z_{\text{эксп}} = 3061 \text{ Н}$; $F_{\text{эксп}} = 2014 \text{ Н}$; $N_{\text{эксп}} = 2837 \text{ Н}$.

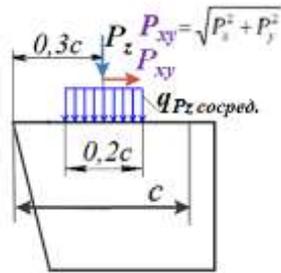


Рис. 3. Нагрузка условно сосредоточенными технологическими силами P_z , P_y и P_x (Н), действующими на небольшой площадке $0,2 \cdot c \cdot b$ (мм^2)

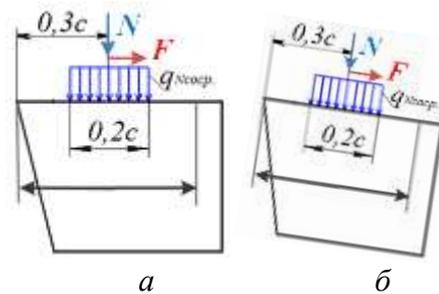


Рис. 4. Нагрузка условно сосредоточенными физическими составляющими силы резания N и F (Н), действующими на небольшой площадке $0,2 \cdot c \cdot b$ (мм^2):
а – при переднем угле $\gamma = 0^\circ$;
б – при переднем угле $\gamma > 0^\circ$

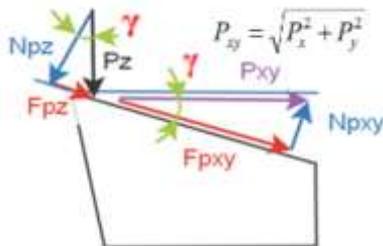


Рис. 5. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости при положительном переднем угле γ

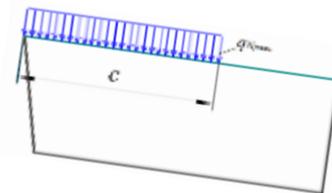


Рис. 6. Приложение равномерно распределённой нагрузки от физических составляющих силы резания

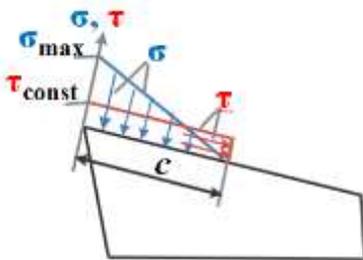


Рис. 7. Приложение равномерно распределённой нагрузки τ и нормальных контактных напряжений σ по закону треугольника

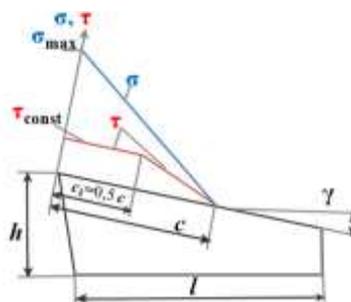


Рис. 8. Приложение контактных напряжений τ по выявленной форме и нормальных контактных напряжений σ по закону треугольника

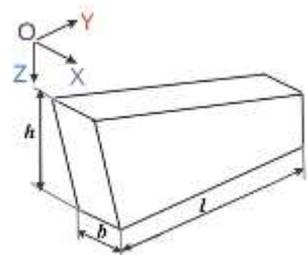


Рис. 9. 3D-модель простого резца

Сравниваем НДС (напряжения σ_x (σ_{xk}), σ_z , σ_y , σ_x , τ_{zy} , τ_{zx} , τ_{xy} , относительная деформация $\epsilon_{обш}$) всех 6 видов и делаем выводы.

Список литературы

1. Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р. Методы исследования процесса стружкообразования при обработке конструкционных сталей / В.Н. Козлов, А.С. Бабаев, А.Р. Семёнов // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2024. – С. 217–222. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77437>.
2. Построение эпюр контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали / В.Н. Козлов, Х. Чжан, Е.Н. Петровский // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22–25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – Современные проблемы машиностроения. – С. 94–97. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74379>.
3. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали / В.Н. Козлов, Ц. Дин, В. Ли // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22-25 ноября 2022 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. Е.Н. Пашков [и др.]. – 2022. – Современные проблемы машиностроения. – [С. 98-101]. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74380>.
4. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13, iss. 12. – Article number 2009. – 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
5. Влияние переднего угла на физические составляющие силы резания при обработке стали / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан [и др.] ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – Современные проблемы машиностроения. – С. 225–227. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77439>.
6. Исследование и моделирование НДС в зоне стружкообразования при обработке стали 40X / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – Современные проблемы машиностроения. – С. 228–233. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77440>.
7. Real-time determination of cutting force coefficients without cutting geometry restriction / В.Тукора,Т.Сзалай // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2011. – Vol. 51 – No. 12. – P. 871–879. – DOI:10.1016/j.ijmachtools.2011.08.003.
8. Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations / М.Каумакци,З.М.Килич,У.Алтintas // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2012. – Vol. 54–55. – P. 34–45. – DOI:10.1016/j.ijmachtools.2011.12.008.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВУЗЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КВИЗОВ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Ломовская С.А.¹, Самолук Н.Г.²

*¹ Томский государственный педагогический университет, гр. 14/731М,
e-mail: xxx_sofi_xxx@mail.ru*

*² Томский государственный педагогический университет, технолого-экономический факультет, старший преподаватель кафедры профессионального обучения, технологии и предпринимательства,
e-mail: samolyukng@mail.ru*

Инженерная графика – одна из основополагающих дисциплин в техническом образовании. Знания в области черчения, проектирования, конструирования, полученные при изучении данной дисциплины, позволяют выпускникам вузов работать в различных отраслях – от машиностроения до архитектуры.

В последние несколько лет образовательный процесс в любом техническом вузе претерпевает значительные изменения, одним из катализаторов которых является появление и внедрение новых технологий, в частности, искусственного интеллекта (ИИ). Безусловно, искусственный интеллект, а именно текстовые, визуальные, аудиальные и смешанные генеративные нейросети позволяют повысить эффективность учебного процесса, предлагая возможности для организации персонализированного обучения, автоматизации оценки знаний обучающихся, а также для разработки новых образовательных инструментов.

Одними из таких инструментов являются квизы – так называемые интерактивные онлайн-тесты, которые позволяют преподавателям оценить знания студентов в реальном времени, в то время как студенты могут пользоваться подобными ресурсами и самостоятельно, закрепляя в свободное время пройденный на лекционных занятиях материал. Квизы особенно актуальны сегодня, в эпоху активного внедрения технологий дистанционного обучения, когда нужно проверить те знания, которые раньше возможно было проверить только при очном взаимодействии – например, навыки чтения чертежей, анализа проекций и построения схем. К тому же квизы, в отличие от традиционных экзаменов, позволяют оценивать сформированность знаний и навыков студентов на протяжении всего учебного процесса, а не только после завершения курса.

В инженерной графике важно не только запомнить теоретические аспекты, но и успешно овладеть практическими навыками – умением работать с проекциями, чтением и интерпретацией чертежей, а также применением различных графических стандартов. Именно на решение таких задач можно направить задания квиза – он позволяет проверить знания студентов в самых разных областях инженерной графики: от базовых понятий (работа с проекциями и видами) до более сложных задач (пространственные чертежи).

Как и онлайн-обучение в целом, квизы имеют массу преимуществ: получение мгновенной обратной связи, возможность пройти квиз в любое удобное время, а также пройти его повторно для наилучшего усвоения материала, возможность адаптации заданий для уровня подготовки каждого отдельного студента, снижение нагрузки на преподавателя и оптимизация образовательного процесса благодаря автоматизированной системе оценивания.

Использование искусственного интеллекта открывает новые возможности для разработки интерактивных образовательных инструментов. Если говорить о квизах – здесь ИИ может помочь, например, в создании уникальных вопросов на основе имеющихся чертежей или проекций. Так, алгоритмы генеративного проектирования могут автоматически генерировать изображения чертежей с заданными параметрами, которые можно использовать в качестве основы для заданий – создание разнообразного тестового материала значительно уменьшает вероятность заучивания стандартных решений. Некоторые платформы на базе

ИИ (например, Coursera и Khan Academy) способны анализировать ошибки студентов при прохождении квизов, выявляя пробелы в их знаниях и формируя соответствующие задания в качестве работы над ошибками. Даже некоторые САПР-системы сегодня имеют интегрированный ИИ, что позволяет студентами автоматически исправлять ошибки при проектировании, обучаясь в процессе.

Сегодня существует множество инструментов и платформ на базе ИИ, которые могут применяться для создания квизов. Прежде всего, конечно, это текстовые генеративные нейросети, такие как ChatGPT или GigaChat от Сбера. Нейросети необходимо задать качественно составленный и подробный промт – а дальше она все сделает самостоятельно, предоставив необходимое количество заданий. Представленные выше нейросети на сегодняшний день могут также самостоятельно генерировать изображения по описанию, что так же может пригодиться при подготовке квизов.

Тем не менее, использование ИИ при разработке квизов имеет и определенные ограничения. Так, ИИ, как правило, хорошо справляется с созданием базовых вопросов, однако генерация более сложных заданий может оказаться невыполнимой для него, особенно если пользователь не обладает навыками промптинга, то есть формулирования качественных запросов. Анализ изображений и, в частности, чертежей, также может вызывать затруднения у генеративных нейросетей, которые достаточно хорошо справляются с распознаванием, однако не всегда способны отметить мелкие отклонения от стандартов или ошибки в масштабировании. Кроме того, проблема внедрения ИИ в образовательный процесс сегодня – это отдельный вопрос, который, к сожалению, пока что не нашел единого решения. В России существуют вузы, которые положительно относятся к использованию ИИ и даже закрепляют возможность его применения в своих нормативных документах (например, МГПУ), однако в регионах в большинстве вузов все еще существует запрет на использование ИИ студентами, что очень сильно ограничивает и возможности преподавателя. Некоторые исследователи также предполагают, что сами студенты не всегда позитивно воспринимают использование ИИ в образовательном процессе, однако на практике можно заметить, что обучающиеся быстро адаптируются к новым технологиям. А вот многие преподаватели действительно предпочитают придерживаться традиционного стиля обучения, и зачастую достаточно сильно сопротивляются любым попыткам использования ИИ в своей работе.

Для того, чтобы проверить возможности генеративной нейросети в создании квиза, мы использовали ChatGPT от организации OpenAI, предложив ему следующий промт: «Составь квиз по Инженерной графике по теме «Конкурирующие точки». Квиз должен состоять из 5 вопросов разного типа (например, один вопрос с выбором правильного ответа, один на установление соответствия, один открытый вопрос и т. д.). Ответы должны быть четкими и понятными, включая правильный вариант для вопросов с выбором. Учти, что квиз предназначен для студентов».

ChatGPT предложил следующий вариант квиза:

1. Как определяются конкурирующие точки в инженерной графике?
 - a) Точки, находящиеся на одной прямой
 - b) Точки, расположенные на разных видах, но относящиеся к одному объекту
 - c) Точки, принадлежащие разным объектам
 - d) Точки, лежащие в одной плоскости
2. Установите соответствие между описанием и типом конкурирующих точек:
Точки, относящиеся к одному элементу конструкции на разных видах.
Точки, принадлежащие соединяемым поверхностям.
Точки, определяющие одну и ту же окружность в пространстве.
 - a) Граничные точки
 - b) Циркулярные точки
 - c) Опорные точки

3. Опишите процесс определения конкурирующих точек на чертеже, если они принадлежат пересекающимся элементам конструкции.

4. Какие из следующих инструментов используются для анализа конкурирующих точек?

- a) Линейка
- b) Циркуль
- c) Трёхмерное моделирование
- d) Таблицы допусков

5. На чертеже даны два вида детали: вид спереди и вид сверху. Какой метод вы примените, чтобы проверить совпадение конкурирующих точек на этих видах?

Мы видим, что представленный технологиями искусственного интеллекта квиз предлагает нам сочетание теоретических и практических, открытых и закрытых вопросов, таким образом, являясь эффективным инструментом для проверки знаний студентов.

Использование искусственного интеллекта в образовательном процессе, особенно в таких дисциплинах, как инженерная графика, открывает широкие возможности для улучшения качества обучения. ИИ способствует созданию адаптивных и интерактивных учебных материалов, позволяет автоматизировать проверку знаний, а также предоставляет преподавателям и студентам новые инструменты для эффективного взаимодействия. Внедрение этих технологий обещает значительное повышение персонализации образования, улучшение практических навыков студентов и оптимизацию учебного процесса. Несмотря на существующие вызовы и проблемы, связанные с внедрением и принятием ИИ, его потенциал для трансформации образовательной среды очевиден.

Список литературы

1. Петренко П.В. Исследование возможностей применения искусственного интеллекта в обучении инженерной графике // Моя профессиональная карьера. – 2023. – Т. 1, № 46. – С. 135–140.

2. Комов С.А., Баулин В.А. Применение технологий искусственного интеллекта в изучении графических дисциплин // Студент года 2023: сборник статей XXIX Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 05 ноября 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 47–51.

3D-ПЕЧАТЬ КАК СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БЕЗВОЗДУШНОГО БАСКЕТБОЛЬНОГО МЯЧА

*Ураймахунов Р.Р.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А11,
e-mail: rru2@tpu.ru*

В современном мире 3D-печать является одним из наиболее развивающихся направлений по созданию моделей и получает очень широкое применение во многих аспектах жизни: промышленность, быт, досуг, биоинженерия, спорт и многие другие. Ни для кого не секрет, что в 2019 году ученые с помощью биологического 3D-принтера смогли напечатать полностью функционирующее человеческое сердце малых размеров, а компания MANLE напечатала поршни для спорткара Porsche 911 GT2 RS на основе алюминиевого порошка. С каждым днем ученые и экспериментаторы открывают для себя новые границы 3D-печати.

Компания Wilson Sporting Goods Co. не была исключением. В марте 2023 года на фестивале NBA Slam Dunk Contest Champs был представлен первый безвоздушный баскетбольный мяч Wilson Airless Gen1, созданный полностью с помощью 3D-печати. Он пригоден для игры и почти полностью соответствует техническим характеристикам обычного мяча, включая вес, размер и отскок (рикошет). Инновационный дизайн мяча был создан командой Wilson Labs в Инновационном центре бренда в Чикаго, услуги вычислительного проектирования были предоставлены компанией General Lattice, решения по окраске и отделке компанией DyeMansion, а услуги по 3D-печати были предоставлены техническим центром EOS, имеющим очень немалую известность на западе.

Безвоздушный прототип имеет тот же размер и форму, что и традиционный баскетбольный мяч, с восемью лопастными панелями, покрывающими поверхность. Вместо цельной кожаной оболочки компания сделала прототип мяча полым с большими шестиугольными отверстиями. Так что называть его «безвоздушным» немного неправильно – в мяче много воздуха, но он не остается там. Мяч отскакивает от поверхности из-за упругой конструкции, а не из-за находящегося внутри под давлением воздуха.

Как же создавалось данное чудо?

Изначально инженеры компании хотели перевернуть представление о баскетбольном мяче: вместо традиционного с камерой внутри, швами и другими конструктивными особенностями, нужен такой прототип, который будет по ощущениям такой же, как традиционный, но «совсем не такой».

Wilson начал с проектирования мяча в виртуальной среде. На самом деле, каким образом будет изготавливаться инновационный баскетбольный мяч никто не знал, особенно на первых порах. В скором времени инженеры решили: аддитивные технологии – лучшее, если не единственное, решение, позволяющее претворить мечту компании в реальность.

Wilson Sporting Goods объединилась с фирмой по 3D-печати под названием EOS для создания безвоздушного прототипа. В большинстве случаев 3D-печать предполагает нанесение слоев расплавленного пластика с помощью сопла экструдера, но у EOS есть уникальная система, которая уже нашла применение в медицинских устройствах и аэрокосмической отрасли.

EOS использовала SLS печать для создания Airless Gen1. Технология SLS (Селективное лазерное спекание) заключается в спекании порошка с помощью инфракрасного лазера при повышенной температуре, которая помогает зернам порошка консолидироваться при контакте с лазерным лучом. В обычном SLS-принтере имеется так называемая «кроватка», на которой валик распределяет тонкий слой порошка, а затем лазер спекает его частицы в соответствии с 3D-моделью, создавая деталь слой за слоем.

В качестве принтера использовался высокотехнологичный EOS P 396. По утверждениям самой EOS, это один из лучших принтеров их серии. Все детали, напечатанные на 3D-принтере,

отличаются превосходными механическими свойствами и точностью размеров благодаря программным функциям, таким как интеллектуальное масштабирование, EOSAME и непрерывный контроль температуры. «Непрерывная оптимизация всего производственного процесса стала возможной благодаря оценке и документированию всех циклов сборки»

Как происходила печать мяча:

1. Камера с порошком, как и вся область печати нагревается чуть ниже температуры плавления полимера, после чего выравнивающее лезвие распределяет тонкий слой порошка по рабочей платформе.

2. CO₂-лазер сканирует контур следующего слоя и выборочно спекает частицы порошка полимера. Поперечное сечение компонента сканируется полностью, поэтому деталь получается монолитной.

3. Когда слой завершен, рабочая платформа движется вниз, и лезвие вновь покрывает порошок поверхность.

После завершения процесса печати ответственное лицо проверяет полноценность мяча и выполняет температурный контроль. Этот этап тоже очень важен для создания качественного мяча, поскольку при неправильном температурном режиме его структура может слегка измениться, что существенно повлияет на характеристики, а это в свою очередь может стать причиной несходства с традиционным мячом по весу, отскоку и так далее. Это значит, что цель не достигнута, и необходимо выполнить работу заново.

Температурный контроль выполняется с помощью высокочувствительных датчиков внутри 3D-принтера, которые распознают малейшие изменения в температуре и дают знать, если в чем-то допущена ошибка.

После проверки по температуре необходимо вынуть мяч из ванны с пудрой, что, по словам инженеров EOS, является очень ответственным шагом, сравнимым с археологическими раскопками. Тут, как и в предыдущем шаге, немаловажно не испортить структуру мяча, чтобы не изменить и, соответственно, ухудшить его физические свойства и испортить продукт.

Затем инженеры проверяют качество мяча путем анализа внешнего состояния, то есть на дефекты поверхности. Если все предыдущие шаги были выполнены без ошибок, строго по плану, дефектов быть не должно.

Поскольку для печати используется порошок белого цвета, изначально Airless Gen1 такой же. Но компания Wilson предлагает 3 расцветки: стандартный оранжевый (Orange), белый (Natural) и черный (Jet Black). Соответственно, нужно окрасить мяч без нарушения его целостности. Компания DyeMansion занялась этим вопросом.

Для Wilson Labs и EOS была организована специальная поставка уникальной системы окраски (и в целом подготовки поверхности) DyeMansion DM60. Эта система совместима со всеми видами технологий, использующих материалы на основе пудры, SLS в числе этих технологий.

Это уникальное устройство просто в обслуживании, поскольку для получения результата достаточно погрузить объект в специальный отсек, нажать кнопку «Start» и ждать результата.

Процесс окраски занимает два с половиной часа, за это время краска проникает внутрь примерно на 2 мм. В отличие от распространенного метода окрашивания аэрозольными красками, окрашивание в системе DyeMansion DM60 не образует дополнительного слоя на поверхности, а проникает вглубь изделия, в таком случае не изменяются размеры изделия, не забиваются тонкие каналы и пазы, это позволяет сразу производить печать изделия «в размер», а также улучшаются защитные свойства поверхности.

После покраски первый прототип отправили в специальный тест-центр NBA, поскольку компания Wilson является амбассадором данных соревнований и поставляет им баскетбольные мячи уже долгие годы.

Как было сказано ранее, впервые Wilson Airless Gen1 был представлен на Slam-Dunk Contest'e, где звезды NBA лично проверили безвоздушный мяч на сходство с традиционным, вследствие чего были приятно удивлены. Сейчас мяч проходит тщательное тестирование в

испытательном центре NBA в штате Огайо. Результаты тестов пока не обнародованы, но предварительное мнение одного из форвардов указывает на то, что мяч более чем пригоден для игры в баскетбол.

Airless Gen1 был выпущен в лимитированной серии. На данный момент стоимость инновационного высокотехнологичного безвоздушного печатного мяча составляет \$2500, и продукт действительно оправдывает цену.

Заключение. Традиционный кожаный баскетбольный мяч получил современную высокотехнологичную замену. Это безвоздушный мяч Wilson Airless, в котором отскок достигается не за счет давления воздуха внутри, а за счет эластичной структуры нового полимерного материала. Мяч напечатан на 3D-принтере так, что привычный рисунок на поверхности и хват сохраняются. Модель Airless разрабатывалась так, чтобы максимально точно соответствовать характеристикам традиционных мячей. И все же, глядя на нее, некоторые сомнения остаются. Например, пока не ясно, как ребристая поверхность мяча будет влиять на аэродинамику при бросках с дальних дистанций, но это, думаю, вскоре станет известно.

Список литературы

1. SDS EOS P 396 / EOS GmbH // Электронный ресурс.
2. The Making of the Wilson Airless Prototype Basketball (youtube.com) // Электронный ресурс.
3. Что такое SLS 3D-печать. Как работает SLS 3D-принтер. Обзор аддитивных технологий. (3dtool.ru) // Электронный ресурс.
4. Airless Gen1 Basketball / Wilson's First Airless Basketball // Электронный ресурс.
5. Wilson разработала первый в мире безвоздушный баскетбольный мяч, который напечатала на 3D-принтере (overclockers.ru) // Электронный ресурс.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГРАВИТАЦИИ КАК ПРОБЛЕМА 3D-ПЕЧАТИ

*Ураймахунов Р.Р.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А11,
e-mail: rru2@tpu.ru*

В современном мире прогресс не стоит на месте, и вещи, которые казались нам невозможными в прошлом, уже активно применяются в настоящем. Сложно было представить безвоздушный мяч или облегченный поршень, использующийся в Porsche 911 GT3RS. Но сейчас все это есть, и на этом открытии, созданные с помощью аддитивных технологий, не остановятся.

Тем не менее, 3D-печать не идеальна, у нее есть свои недостатки. Смещения слоев, трещины в высоких объектах, заусенцы и волоски, недостаточное качество поверхности и так далее. Но у этих проблем есть решение, достаточно просто прочитать руководство или, в конце концов, найти информацию в интернете. Однако, есть проблемы, которые просто так человеку не решить. Таковой является зависимость от гравитации.

Гравитация – то, что на данный момент неподвластно человеку. Сейчас, конечно, стараются найти частицу, отвечающую за гравитацию, но пока безуспешно. Это фундаментальное явление, закон природы, который нами воспринимается как данное. Но какие проблемы могут возникнуть из-за нее или же из-за ее отсутствия?

Во-первых, возникновение поддержек. При 3D-печати, например, отверстий, ось вращения которых лежит в плоскости, параллельной плоскости рабочего стола, поддержки просто необходимы. Это ведет за собой затраты на материал, дополнительную обработку и, как следствие, возможную неоднородность получившегося отверстия, что ведет за собой брак всего изготавливаемого изделия. Особенно поддержки необходимы при печати сложных изделий. Это наиболее актуально для ландшафтной 3D-печати, поскольку там наличие временных опор – это обязательная составляющая, однако при печати деталей сложного профиля тоже возникает острая необходимость в поддержках, иначе деталь просто не напечатается.

Во-вторых, отсутствие гравитации как таковой. В условиях невесомости 3D-печать должна производиться липким или быстро застывающим материалом, чтобы происходило скрепление слоев, которые на Земле просто придавливаются гравитацией и остывают. В ином случае печать невозможна, поскольку банально не будет наслаивания материала.

Но все же есть компании, которые смогли совладать с гравитацией.

На данный момент в интернете стало очень популярно видео печати сумки Ариэль, персонажа Disney, в кубе геля. Но данная технология появилась еще задолго до этого видео. В 2017 году команда ученых из Массачусетского технологического института придумала новый тип печати: RLP, или Rapid Liquid Printing. Иными словами, это скоростная печать в жидкой среде. Это смелое решение как раз решает проблему зависимости от гравитации, поскольку в качестве перманентной поддержки выступает плотный гель, который сам может являться материалом для печати наряду с резиной, промышленной пеной и пластиком. Такие материалы применялись в начале развития данного метода печати.

Затем группа ученых скооперировалась с командой конструкторов мебельной компании Steelcase, которая нуждалась в скоростном изготовлении качественного продукта. Тогда ученые представили модернизированный роботизированный экструдер, который позволяет подавать разный по роду материал из одного сопла. В этот момент технология печати RLP начала стремительно развиваться: в ход пошли самые разные материалы, вплоть до бетона, и данный метод отлично справлялся с поставленными задачами.

После всемирного признания такой технологии швейцарский промышленный дизайнер Кристоф Губеран, объединившись с SelfassemblyLab, представил публике предметы интереса, напечатанные с помощью RLP, в Милане в апреле 2017 года. Благодаря этой серии зри-

тели оценили потенциал данного метода, поскольку большая часть напечатанных предметов состояла из силикона. Ранее о печати из силикона можно было только мечтать, а уже сегодня этот материал активно применяется при печати изделий различной сложности и конфигурации. Это была первая презентация изделий, созданных с помощью RLP печати, на широкую аудиторию.

Как работает RLP печать?

Материал для печати подаётся через тонкую иглу, что позволяет печатать небольшие и в то же время сложные объекты с большим количеством деталей. Гель на основе полимеров акрила выполняет роль опорной структуры, не позволяющей печатаемому объекту рассыпаться под собственной тяжестью. Вместе с экструдированным материалом гель превращается в суспензию – смесь веществ, где твёрдая фаза во взвешенном состоянии распределена в жидком веществе, благодаря чему состав не оседает и не всплывает на поверхность, что и решает проблему с гравитацией.

Роботизированный экструдер подаёт материал в контейнер с промышленным гелем. По мере подачи материал остаётся внутри геля и соединяется только сам с собой. Таким образом, готовую конструкцию остаётся только извлечь из геля и промыть водой – напечатанный на 3D-принтере объект не нуждается в дополнительной обработке.

Преимуществом так же является и структурная целостность напечатанного изделия, поскольку оно не имеет видимого послойного деления, хотя, по сути, этот метод является аддитивной технологией.

Однако стоит отметить, что оборудование для RLP и по сей день дорогое, поскольку все еще считается одной из наиболее эффективных технологий для 3D-печати. Поэтому все изделия, полученные данным методом, будут иметь достаточно высокую стоимость.

Что касается печати в космосе, то на данный момент известно, что впервые 3D-принтер для печати в невесомости представили российские разработчики РКК «Энергия» (входит в «Роскосмос») в мае 2022 года. Более того, техническое оснащение для такого принтера предоставил Томский политехнический университет, а электронную – Томский государственный университет.

РКК «Энергия» работала над разработками такого принтера для Международной космической станции (МКС), на которую в июне этого же года отправился один экземпляр принтера. Второй же оставили на Земле.

4 мая на официальном сайте ТПУ вышла статья об успехах работы. «Разработка принтера со всеми необходимыми этапами заняла чуть больше трех лет. Перед специалистами Томского политеха стояла задача сделать аппарат, который позволит оперативно и непосредственно на станции создавать нужные космонавтам небольшие детали, чтобы их не пришлось доставлять с Земли,» – говорится в статье.

Представляет собой этот инновационный принтер аналоговый телевизор. «Рабочая камера принтера, в которой непосредственно происходит процесс печати, полностью герметичная. Она оснащена системами терморегулирования, вентиляции, циркуляции и очистки воздуха. Это важно для удаления продуктов термического разложения пластика из атмосферы рабочей камеры и обеспечения безопасности экипажа станции. В обычных принтерах такие элементы не предусмотрены,» – написано в той же статье.

В качестве материала выступает термопластичный полимер. Принтеру задают 3D-модель, которую затем он послойно печатает. Детали, изготовленные таким образом, получаются очень прочными, но при этом легкими.

А в 2024 году ученые из Калифорнийского университета Беркли провели испытания своего детища, микрогравитационного принтера SpaceCAL, непосредственно в невесомости.

Устройство было расположено на борту суборбитального корабля VSS Unity от Virgin Galactic. Застывание напечатанных конструкций происходило в результате полимеризации за

счет света. Это позволило формировать сложные трёхмерные структуры быстро, несмотря на отсутствие гравитации.

SpaceCAL может создавать объекты из более чем 60 различных материалов. В их число так же входят нанокomпозиты и биоматериалы, что несомненно является инновацией.

Заключение: Гравитация, как и ее отсутствие, являлась одной из самых важных проблем традиционной 3D-печати. Но технология Rapid Liquid Printing успешно с ней справилась. В современном мире RLP активно применяется в производстве, строительстве и робототехнике. И это далеко не предел.

А с отсутствием гравитации первыми в 2022 году справились отечественные инженеры, в том числе инженеры ТПУ и ТГУ. На данный момент на МКС есть один экземпляр принтера, работающего в условиях невесомости, созданный нашими соотечественниками. В скором будущем, по заявлению создателей SpaceCAL, микрогравитационного принтера из Калифорнии, каждая космическая станция будет оснащена таким оборудованием, поскольку это необходимо для изучения окружающего нас космоса и, вероятно, будущей колонизации.

Список литературы

1. Созданы первые российские 3D-принтеры для работы в условиях невесомости // Электронный ресурс.
2. 3D-принтеры «научились» печатать в невесомости // Электронный ресурс.
3. Ученые создали новую технологию 3D-печати с помощью геля // Электронный ресурс.
4. Как 3D-принтеры могут заменить фабрики // Электронный ресурс.
5. Инженеры научили 3D-принтер печатать в геле // Электронный ресурс.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ

Протопопова Е.Ю.¹, Лысак И.А.²

¹ТПУ ИШНПТ ОмШ, гр. 4АМ31,

e-mail: eyp15@tpu.ru

²ТПУ ИШНПТ к.т.н., доцент ОмШ,

e-mail: doc@tpu.ru

В настоящее время в машиностроении имеется большое количество разнообразных деталей, к которым предъявляются высокие требования по точности изготовления и высокой твердости рабочего поверхностного слоя. Типичными и наиболее массовыми представителями данных деталей являются детали типа тел вращения: втулки, кольца, фланцы и т. д. В связи с этим, во всех отраслях промышленности все чаще применяют методы, основанные не на резании материалов, а на пластическом деформировании в холодном состоянии поверхностного слоя металлических деталей машин, что определяется существенными преимуществами метода обработки давлением, по сравнению с методом обработки резанием.

Сочетание достигаемых при обработке давлением низкой шероховатости поверхности с гарантированным упрочнением поверхностного слоя обеспечивает высокие эксплуатационные свойства деталей: повышение твердости поверхностного слоя металла, его износостойкости, предела текучести и особенно предела усталости [1].

Именно эти достоинства в сочетании с высокой экономичностью и простотой осуществления технологического процесса практически в любых производственных условиях определили быстрое развитие и широкое внедрение в производство методов отделочно-упрочняющей обработки, среди которых поверхностное пластическое деформирование (ППД) является одним из наиболее экономичных и эффективных методов упрочнения. ППД позволяет полнее реализовать потенциальные свойства конструкционных материалов в реальных деталях, особенно в деталях сложной формы.

К одним из наиболее эффективных методов улучшения качества деталей относится дорнование. Дорнование обладает способностью к формированию инструментом упрочненного поверхностного слоя в обрабатываемой заготовке со специфическим расположением волокон металла, за счет которого долговечность этой детали возрастает в 1,5–2 раза [2]. Точность деталей и качество их поверхностного слоя обеспечиваются распределением остаточных деформаций и напряжений.

Процессам дорнования отверстий свойственны многие характерные признаки холодной обработки металлов давлением: упрочнение металла при его пластическом деформировании, изменение линейных размеров обрабатываемых заготовок, трение и высокие давления на контактных поверхностях и др. [3].

Необходимо также указать на применение поверхностного деформирования, в том числе и дорнования, для соединения компонентов. На сопрягаемой поверхности охватывающей детали предварительно наносится макрорельеф (царапины, впадины). При дорновании происходит пластическая деформация охватываемой детали. И, так как, материал охватываемой детали более пластичный, то он заполняет профиль охватывающей детали. Преимуществом данного соединения является высокая точность и качество обработанного отверстия [4].

Метод дорнования нашел широкое применение в различных областях машиностроения и продолжает развиваться и совершенствоваться. Он позволяет повысить устойчивость к разрушению и улучшить качество поверхности отверстия.

Одной из важных проблем является подбор параметров процесса для достижения наилучших результатов. Экспериментальное исследование протекающих при дорновании процессов и напряженно-деформированного состояния является затруднительным [5], по-

этому появляется необходимость использования различных методов инженерного анализа и моделирования.

Использование математической модели процесса дорнования является наиболее перспективным, так как позволяет упростить расчеты, учесть особенности геометрии и другие факторы, а также провести более детальный анализ влияния параметров на усталостную прочность отверстия [6]. Это может существенно повысить эффективность и точность процесса дорнования в машиностроении.

Список литературы

1. Рыков А.Д. Отделочно-упрочняющая обработка внутренних поверхностей / А.Д. Рыков, Д.В. Черепанов, В.П. Елисов, В.А. Левко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – Ч. 1 – С. 35–37.
2. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий / Ю.Г. Проскуряков. – М.: Машгиз, 1961. – 190 с.
3. Скворцов В.Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра / В.Ф. Скворцов, А.Ю. Арляпов. – Томск: ТПУ, 2005. – 92 с.
4. Галактионова Е.А. Обзор технологий формирования неразъемных соединений методами пластического деформирования / Е.А. Галактионова, П.А. Петров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – № 1 – С. 653–666.
5. Ge E.D., Fu Y.C., Su H.H., Xu J.H., Chen Xue M. Study on residual stresses and fatigue properties of TC21 titanium alloy plate bores by cold extrusion // Rare metal materials and engineering. – 2016. – Vol. 45, № 5 – P. 1189–1195.
6. Чжан Ц. Численное исследование остаточных окружных напряжений при дорновании в трехмерной и двумерной осесимметричной постановке / Ц. Чжан, Г.В. Лысак, Ш.Ш. Сатимов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 201–204.

КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМЕННОГО ПЛАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $MgO-Al_2O_3-SiO_2$

Шеховцов В.В., Улмасов А.Б., Семеновых М.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

Современные промышленные технологии стремятся улучшить параметры технологических процессов, такие как скорость, время и интенсивность взаимодействия. Однако традиционные отрасли, обеспечивающие человечество энергией, металлами, пластиками и другими материалами, сталкиваются с рядом недостатков, включая большие объёмы производства, высокую энергоёмкость, значительные затраты ресурсов и образование большого количества отходов [1]. Развитие техники и электроники требует повышения качества традиционных материалов и создания новых, обладающих уникальными свойствами, такими как чистота, термостойкость, химическая стойкость, твёрдость и т. д. Это привело к поиску и разработке новых технических решений в металлургии, химической промышленности, энергетике, машиностроении и других областях. Как правило, синтез материалов в системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ из тугоплавких материалов чаще получают методом обжига и искровой плазменной спекание. На сегодня актуальным является применение энергии термической плазмы для синтеза тугоплавких материалов, так как данный источник энергии позволяет реализовать высокие удельные тепловые потоки, что приводит к усреднённым по массе температурам от 3500 до 10 000 К. Цель исследования является синтез керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления. Система $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ включает в себя ряд ключевых бинарных соединений: муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), форстерит (Mg_2SiO_4), шпинель ($MgAl_2O_4$), которые широко используются в производстве огнеупорных материалов для металлургической промышленности, а также в высокотемпературных изоляторах и абразивных материалах.

На рисунке 1 представлена методология процесса получения керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления.

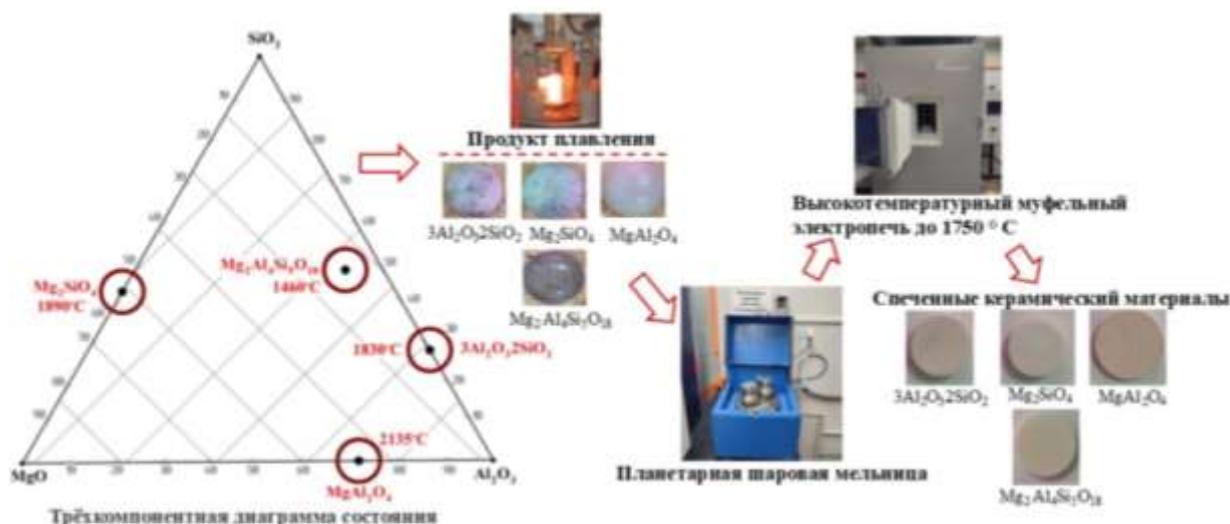


Рис. 1. Методология процесса получения керамических материалов на основе продуктов плазменного плавления

Продукты плавления синтезировались на электроплазменном стенде, принцип работы и конструктивные особенности подробно описаны в работах [2,3]. Помол продуктов плавления осуществлялась в планетарной шаровой мельнице (активатор 2XS) в течение 15–30 мин. Прессование образцов проводилось на гидравлическом прессе при давлении 200 Мпа. Спе-

кание проводился в высокотемпературном муфельном печи, температура варьировался при 1550 °С. В таблице 1 представлены текстурные характеристики керамических материалов.

Таблица 1

Характеристики керамических материалов

Керамика на основе	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Открытая пористость, %
3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	2,8 (теор. 3,1)	1,14	2,12
Mg ₂ SiO ₄	2,84 (теор. 3,22)	0,22	0,63
MgAl ₂ O ₄	3,24 (теор. 3,57)	0,36	1,19

Результаты показали, что плотность полученных керамических образцов отклоняется от теоретической на 1 %. Водопоглощение спеченных керамики варьируется от 0,22 до 1,14 %, пористость составляет от 0,63 до 2,12 %.

На рис. 2 представлены электронные снимки поверхности продуктов плавления на основе шпинели (а), форстерита (б), муллита (в).

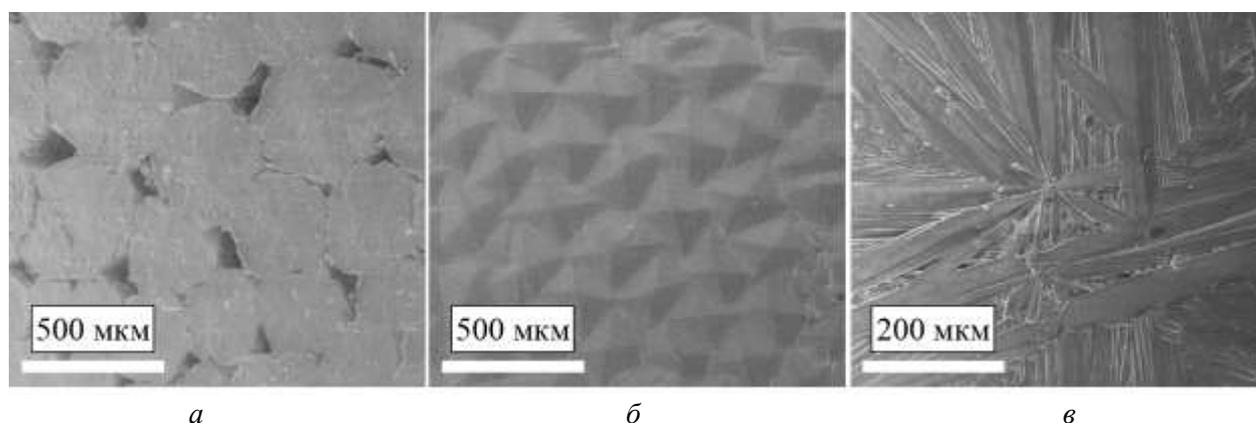


Рис. 2. Электронные снимки поверхности продуктов плавления на основе шпинели (а), форстерита (б), муллита (в)

Поверхность продукта плавления MgAl₂O₄ характеризуется кристаллическими зернами многоугольной структуры средним размером 234±25 мкм. Зерна ориентированы и имеют контактную зону с близлежащими зернами, при этом присутствуют поровые пространства средним размером 53±8 мкм. Оценка микроструктуры Mg₂SiO₄ показывает, что кристаллизация расплава описывается и сопровождается плотной упаковкой бипирамидальной формы зерен размером 147±25 мкм. Микроструктура поверхности продукта плавления 3Al₂O₃ · 2SiO₂ представлена характерными длинными (≥50 мкм), радиально расходящимися кристаллическими структурами.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2023-0003

Список литературы

1. Boyko N., Odaryuk V., Safonov A. Main Applications of Plasma Technology in Industry // Civil SecurityTechnology. – Vol. 12. – 2015. – P. 70–74.
2. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Ulmasov A.B., Synthesis of MgAl₂O₄ Spinel in a Thermal Plasma // Inorg. Mater. – V. 59. – 2023. – P. 851–857.
3. Shekhovtsov V.V. Thermal Plasma Synthesis of Forsterite with Cubic Matrix // High Energy Chem. –V. 57. – 2023. – P. 204–208.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТРЕНДЫ И ВЫЗОВЫ

*Цзя Чуанчуан, студент гр. 158Т12
НИ ТПУ,
e-mail: tc010@tpu.ru*

Введение

Современная промышленность находится на пороге глобальных изменений, вызванных широким внедрением инновационных технологий. Производственные предприятия всё чаще обращаются к цифровым инструментам и автоматизированным решениям, которые позволяют улучшить эффективность, оптимизировать ресурсы и снизить затраты. В этой трансформации огромную роль играют такие концепции, как "Индустрия 4.0", умные фабрики и цифровизация. Эти подходы направлены на объединение физического производства и цифровых технологий в единую систему, где информация становится основой управления и принятия решений.

Однако масштабное внедрение новых технологий – это не только возможности, но и значительные вызовы. Для их успешного освоения предприятиям приходится адаптировать существующие процессы, инвестировать в обучение персонала и модернизировать инфраструктуру. Стремление к устойчивому развитию добавляет ещё один уровень сложности, требуя внедрения экологически ответственных подходов. Таким образом, тема развития современных производственных технологий остаётся крайне актуальной как с точки зрения инноваций, так и в контексте глобальных вызовов, с которыми сталкивается промышленность.

Основные направления развития технологий

Современные производственные технологии трансформируют традиционные подходы к производству, делая их более эффективными, гибкими и ориентированными на решение комплексных задач. Важнейшей составляющей этих изменений является цифровизация, которая представляет собой переход к использованию данных в реальном времени для управления всеми аспектами производственного процесса. Цифровые двойники, создаваемые на основе этих данных, позволяют моделировать и тестировать оборудование до его физического внедрения, снижая вероятность ошибок и потерь.

Роботизация стала ещё одним ключевым элементом прогресса. Современные роботы выполняют задачи, которые ранее требовали значительных затрат времени и ресурсов. Они находят применение не только в промышленности, но и в логистике, медицинском оборудовании и сельском хозяйстве, где точность и надёжность имеют решающее значение. Благодаря автоматизации ручные операции заменяются высокоскоростными процессами, что улучшает качество продукции и сокращает производственные циклы.

Искусственный интеллект (ИИ) также занимает центральное место в развитии технологий. Он помогает обрабатывать огромные массивы данных, полученных с производственных линий, предоставляя возможность прогнозировать поломки, анализировать узкие места и повышать общую эффективность. Например, ИИ используется для контроля качества продукции, обеспечивая своевременное выявление дефектов.

Не менее важным направлением стала устойчивость производства. Компании переходят на использование возобновляемых источников энергии, внедряют технологии переработки и минимизации отходов. Эти изменения способствуют не только снижению затрат, но и улучшению имиджа компаний среди потребителей, всё чаще выбирающих экологически ответственные бренды.

Сложности внедрения

Несмотря на огромное количество преимуществ, внедрение современных технологий сопряжено с рядом сложных вызовов. Одним из главных барьеров остаются высокие капитальные вложения. Закупка оборудования, модернизация производственных линий и инте-

грация цифровых решений требуют значительных инвестиций. Для малых и средних предприятий этот фактор становится особенно острым, поскольку они часто не обладают необходимыми финансовыми ресурсами.

Второй ключевой проблемой является дефицит квалифицированных кадров. Развитие новых технологий требует специалистов с глубокими знаниями в области ИТ, инженерии и анализа данных. Однако существующая система подготовки кадров часто не успевает за темпами изменений. Это вынуждает компании самостоятельно разрабатывать программы обучения, что увеличивает сроки и затраты на внедрение.

Третий вызов связан с обеспечением кибербезопасности. С увеличением числа подключённых устройств и систем растут риски кибератак, которые могут парализовать производственные процессы или привести к утечке конфиденциальной информации. Для решения этой проблемы предприятиям приходится инвестировать в защиту данных и разработку систем, способных противостоять современным угрозам.

Возможности и перспективы

Несмотря на вызовы, возможности, предоставляемые современными производственными технологиями, огромны. Будущее промышленности связано с созданием адаптивных систем, которые могут гибко реагировать на изменения спроса и модернизировать процессы в режиме реального времени. Например, технологии аддитивного производства, такие как 3D-печать, уже сегодня позволяют изготавливать уникальные изделия с минимальными затратами ресурсов.

Для преодоления кадрового дефицита необходимы системные меры. Развитие образовательных программ, которые сочетают теоретическую базу с практической подготовкой, станет основой для формирования высококвалифицированных специалистов. Также важно развивать системы переквалификации сотрудников, позволяя им осваивать новые навыки в процессе работы.

Инвестиции в устойчивое производство открывают предприятиям доступ к новым рынкам и привлекают потребителей, ориентированных на экологическую ответственность. Внедрение возобновляемых источников энергии, минимизация отходов и использование переработанных материалов становятся важными элементами конкурентной стратегии.

Заключение

Современные производственные технологии предоставляют предприятиям уникальные возможности для роста, повышения эффективности и адаптации к новым условиям. Однако их успешное внедрение требует преодоления множества барьеров, включая финансовые затраты, кадровый дефицит и киберугрозы. Только комплексный подход, сочетающий инвестиции в инфраструктуру, разработку стандартов безопасности и подготовку специалистов, может обеспечить успешную трансформацию промышленности. В будущем эти технологии станут основой для создания устойчивых и конкурентоспособных производственных систем, способных отвечать на глобальные вызовы и удовлетворять запросы рынка.

Список литературы

1. Захаров Д.А. Цифровизация промышленности: вызовы и возможности. – Москва: Изд-во Наука, 2023. – 250 с.
2. Иванова Е.И. Индустрия 4.0: от теории к практике. – СПб: СПбГУ, 2022. – 198 с.
3. Сидоров А.Н. Роботизация производства и её влияние на экономику. – Казань: Казанский университет, 2021. – 176 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРЕХФАЗНОГО ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Поваляев П.В.¹, Шляхов Т.С.², Корытов Д.А.³, Власов А.В.⁴

*¹Томский политехнический университет,
e-mail: pvp13@tpu.ru*

*²Томский политехнический университет,
e-mail: tss28@tpu.ru*

*³Томский политехнический университет,
e-mail: dak115@tpu.ru*

*⁴Томский политехнический университет,
e-mail: avv49@tpu.ru*

В настоящее время происходит активное развитие различных методов производства материалов, обладающих уникальными физическими свойствами, а именно карбидов и боридов переходных металлов. Данные материалы, в зависимости от состава, обладают следующими свойствами – высокая температура плавления, высокая стойкость к окислению и коррозии, высокая электро- и теплопроводность [1]. При разработке методов синтеза порошковых материалов необходимо учитывать такие факторы как, продолжительность рабочего цикла, экономические и энергетические затраты на реализацию методов. Ранее авторами данной работы была продемонстрирована возможность получения карбида вольфрама при использовании дугового разряда постоянного тока [2]. Изначально получение данного материала осуществлялось при использовании однофазного дугового реактора постоянного тока, после чего конструкция данного реактора была изменена, в результате чего был разработан трехфазный дуговой реактор постоянного тока [3]. Разработка трехфазного дугового реактора обусловлена потребностью увеличения массы получаемого продукта, что способствует сокращению количества проводимых экспериментов. Однако, в процессе эксплуатации был выявлен ряд недостатков, устранение которых необходимо для повышения производительности оборудования и снижения затрат.

Целью данного исследования является процесс изменения основных элементов трехфазного дугового реактора постоянного тока для повышения мощности и продолжительности рабочего цикла трехфазного дугового реактора постоянного тока.

Подробно принцип работы и устройство дугового реактора описаны в работе [3]. В данном исследовании значительным изменениям подвергались система электропитания и разрядный контур дугового реактора.

Основным изменением системы электропитания дугового реактора стала замена источников постоянного тока (ИПТ) марки Deko DKWM220A на ИПТ марки Elitech АИС 220Д. Замена ИПТ Deko DKWM220A обусловлена несоответствием зарегистрированных показателей силы тока заявленным характеристикам. Замена источников постоянного тока позволила снизить потребляемую мощность с 8,8 кВт до 6,9 кВт и повысить продолжительность включения при максимальном токе с 60 % до 80 %, что позволяет повысить продолжительность рабочих циклов устройства. Помимо этого, сварочные аппараты фирмы Elitech оснащены информативным дисплеем, что повышает точность регулирования устанавливаемого значения силы тока.

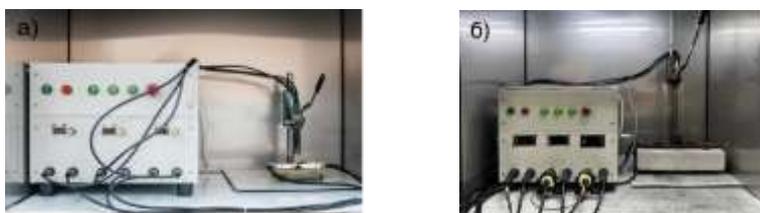
Для сравнения работы источников постоянного тока в процессе проведения экспериментов были проведены измерения электрической энергии при использовании электрического счетчика «Меркурий 234». В табл. 1 представлены показатели электрической мощности, зарегистрированные при работе дугового реактора с ИПТ Deko DKWM220A и Elitech АИС 220Д.

*Зарегистрированные показания подведенной электрической энергии
в реакционную зону дугового реактора*

Марка источника постоянного тока	Сила тока, А	Время дуговой стадии, с	Электрическая энергия, кВт·ч
Deko DKWM220A	200	120	0,34
Elitech АИС 220Д	100	120	0,47

По полученным данным с электросчетчика, видно, что электрической энергии при силе тока 200 А на источниках марки Deko DKWM220A, подведено в 1,4 раза меньше, чем источниками марки Elitech АИС 220Д, при установленном значении силы тока 100 А и фиксированном значении продолжительности дуговой стадии 120 с в обоих случаях.

Увеличение мощности разрабатываемого устройства также привело к необходимости изменения конструкции разрядного контура реактора. Ранее для проведения экспериментов установка графитовых тиглей осуществлялась на алюминиевую пластину, куда подключались отрицательные выводы сварочных аппаратов. Однако, повышение мощности реактора и длительности рабочих циклов, соответственно, значительно повышает рабочую температуру в реакционной зоне, что приводит к разрушению токоведущих частей реактора, в частности алюминиевой пластины. Таким образом, была осуществлена замена материала пластины с алюминия на нержавеющую сталь, что позволяет повысить продолжительность дуговой стадии без разрушения токоведущих частей системы. Также увеличение продолжительности рабочего цикла реактора подразумевает использование графитовых электродов большей длины. В результате чего была увеличена высота стойки для установки токоведущих держателей для графитовых стержней. Благодаря чему стало возможно использование графитовых стержней длиной 250 мм и диаметром 8 мм, ранее использовались стержни того же диаметра и длиной 125 мм. На рис. 1 представлены изображения дугового реактора до и после изменений.



*Рис. 1. Внешний вид трехфазного дугового реактора постоянного тока
(а) до и (б) после проведения модернизации*

Таким образом, по результатам данного исследования продемонстрирована возможность увеличения мощности и длительности рабочего цикла дугового реактора путем изменения конструкции и электропитания дугового реактора.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2022-0018).

Список литературы

1. José G., Verónica C.C., Andreas B., Bartek K. Cemented carbide microstructures: a review // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 80. – P. 40–68. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004.
2. Pak A.Ya., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 93. – 105343. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2020.105343.
3. Поваляев П.В., Пак А.Я., Кокорина А.И., Власов А.В., Болатова Ж.С. Исследование режимов работы трехфазного электродугового реактора постоянного тока для синтеза карбида вольфрама // Вестник Башкирского университета. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 278–286.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ЧИСТОГО ТИТАНА ТА1, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ

Ци М.¹, Чжан Ц.², Клименов В.А.³, Козлов В.Н.⁴, Чинахов Д.А.⁵,
Чернухин Р.В.⁶, Майорова Е.И.⁷

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А1-21, e-mail: mensyuul@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21, e-mail: cinzhun1@tpu.ru;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор ОМ, e-mail: klimenov@tpu.ru;

⁴НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ, e-mail: kovn@tpu.ru;

⁵Новосибирский государственный технический университет, ФЛА,
доцент, e-mail: chinakhov@corp.nstu.ru

⁶Новосибирский государственный технический университет, ПТМ,
доцент, e-mail: chernuxin@corp.nstu.ru

⁷Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук, Инженер, e-mail: Elenapanicheva24@mail.ru

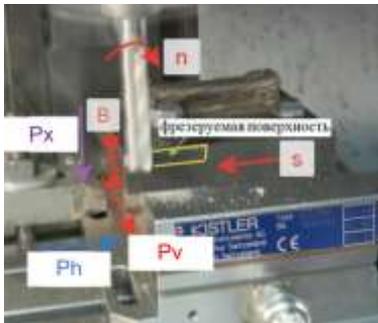


Рис. 1. Установка заготовки на динамометре Kistler 9257B

В современном производстве титановые сплавы широко используются в авиакосмической, морской технике, автомобилестроении и других областях благодаря своей высокой удельной прочности, низкой плотности и отличной коррозионной стойкости [1]. Особенно в биомедицинской области титановые сплавы пользуются популярностью из-за их превосходной биосовместимости и низкого модуля упругости. Промышленный чистый титан ТА1 демонстрирует лучшую биологическую безопасность и более широкие перспективы применения, поскольку не содержит потенциально токсичных элементов, таких как ванадий (V) и алюминий (Al) [2].

По сравнению с лазерной печатью электронно-

лучевая печать быстрее и дешевле, а поскольку она выполняется в вакууме, проблем с окислением можно избежать. Кроме того, сохраняются такие характеристики аддитивного производства, как высокая эффективность, высокий коэффициент использования материала и высокая гибкость производства. Однако поверхность отпечатанной заготовки имеет большую неровность, до 1–2 мм, и для достижения необходимой точности изделия необходимо проводить последующую механическую обработку (например, фрезерование) [3, 4].

Из-за высокой прочности и плохой теплопроводности титанового сплава, его малого сродства с вольфрамом (W) в однокомпонентном твердом сплаве (типа ВК), его обработка привлекает большое внимание.

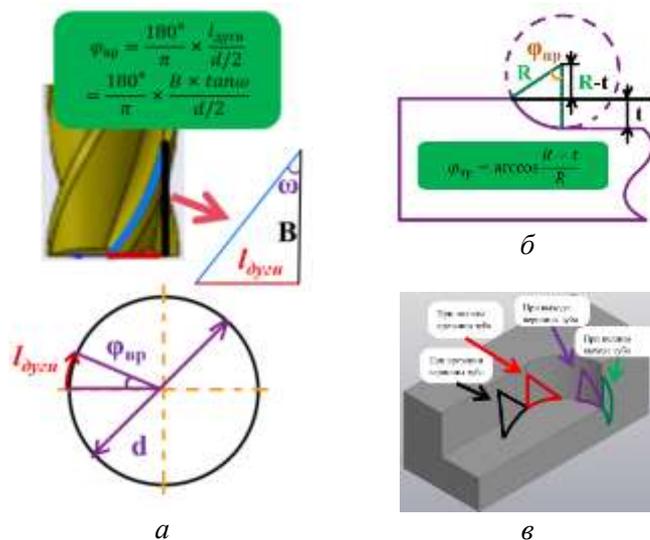


Рис. 3. Схема определения углового положения зуба φ_{sp} при полном врезании зуба (а) φ_{sp} при выходе вершины зуба от заготовки (б) и текущее положение режущей кромки при фрезеровании (в)

В наших исследованиях по концевому фрезерованию титана TA1 использовался метод измерения сил вдоль направления подачи (P_h), перпендикулярно направлению подачи (P_v) и вдоль оси фрезы (P_x). Особое внимание уделялось исследованию изменений тангенциальной силы (P_z), действующей вдоль направления скорости резания, и радиальной силы (P_y), направленной к оси вращения концевой фрезы. Силы P_z и P_y меняют не только свою величину, но и направление действия при вращении фрезы, что существенно затрудняет их выделение при измерении с помощью обычного динамометра, в отличие от технологических сил P_h , P_v и P_x .

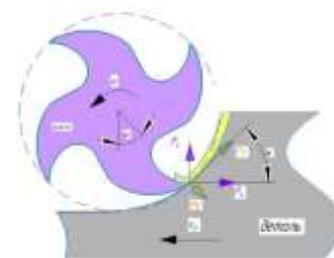


Рис. 4. Схема разложения сил P_h и P_v на силы P_z и P_y

Однако исследование изменения именно сил P_z и P_y важно для изучения процесса резания при фрезеровании, т. к. позволяет рассчитать нормальную N и касательную F физические составляющие силы, действующие на передней поверхности зуба фрезы. Без знания этих сил невозможно построить эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений. Без знаний о величине и распределении контактных напряжений невозможно рассчитать напряжённо-деформированное состояние (НДС) зуба фрезы и оценить его прочность при различных режимах резания. Получаемая при этом информация очень важна также для анализа процесса износа инструмента.

Эксперименты по встречному фрезерованию проводились при скорости вращения фрезы $n = 1000$ об/мин, ширине фрезерования $B = 2$ мм, глубине фрезерования $t = 1$ мм и минутной подаче $s_m = 125$ мм/мин, используя четырёхзубую ($z = 4$ шт.) твёрдосплавную фрезу без износа диаметром $d = 8$ мм и углом подъёма стружечной винтовой канавки $\omega = 40^\circ$ на фрезерном станке с ЧПУ (EMCO CONCERTMill 155). Силы фрезерования измерялись с помощью динамометра Kistler 9257B (Швейцария).

Небольшая глубина фрезерования t при существенно большем диаметре фрезы и небольшая ширина фрезерования B позволяет проследить изменение сил при резании только одним зубом. По графику изменения силы в процессе резания одним зубом фрезы, полученному с помощью динамометра, видно, что время фрезерования одиночного зуба $t_3 = 0,00375$ с.

Процесс фрезерования зубом разделяется на три этапа, соответствующих трём угловым положениям зуба:

$$\varphi_{вр} = \frac{B \times \tan \omega}{\frac{d}{2}} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{2 \times \tan 40^\circ}{\frac{8}{2}} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 24,038^\circ - \text{при полном врезании зуба};$$

$$\varphi_{пр} = \arccos \frac{\frac{d}{2} - t}{\frac{d}{2}} = \arccos \frac{8/2 - 1}{8/2} = 28,955^\circ - \text{при выходе вершины зуба из заготовки, } \varphi_{вы} =$$

$$\varphi_{вр} + \varphi_{пр} = 52,993^\circ - \text{при полном выходе зуба из заготовки.}$$

Формула преобразования между угловым положением и временем:

$$\Phi(t) = \frac{t_3}{\varphi_{вы}} \times t. \quad (1)$$

Согласно рис. 4 силы вдоль направления подачи (P_h) и перпендикулярно направлению подачи (P_v) разлагаются на силы вдоль направления скорости резания (P_z) и радиально оси вращения фрезы (P_y):

$$P_z = P_h \times \cos \varphi + P_v \times \sin \varphi \quad (2)$$

$$P_y = P_h \times \sin \varphi - P_v \times \cos \varphi \quad (3)$$

Поскольку подача на зуб s_z небольшая, около 1/16 глубины фрезерования, влияние этой подачи на формулу игнорируется.

По графикам изменения технологических составляющих сил резания P_h и P_v от времени, полученных с помощью динамометра, и их последующего преобразования по формулам (1), (2) и (3) получился график углового положения-силы на рис. 5. Поскольку зубья фрезы не имели износа, в частности, не было фаски износа по задней поверхности, то влияние сил на задней поверхности при анализе процесса фрезерования игнорируется.

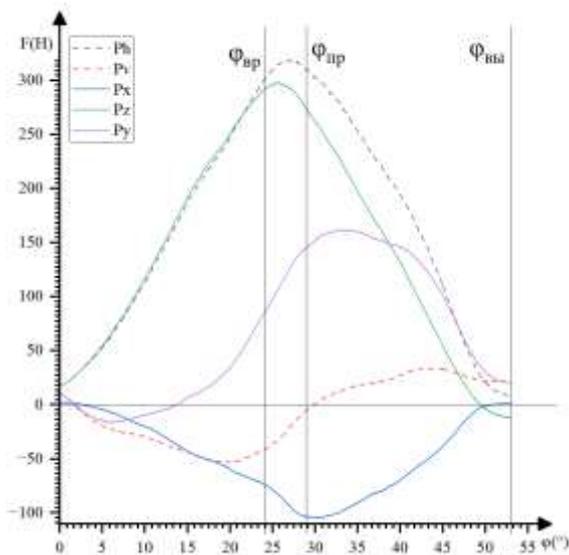


Рис. 5. График изменения сил фрезерования при повороте режущей кромки без износа. Встречное фрезерование 4-х зубой фрезой $\varnothing 8$ мм, $t = 1$ мм, $V = 2$ мм, $n = 500$ об/мин, $s_m = 125$ мм/мин

В процессе врезания зуба сила P_z увеличивается, поскольку длина контакта режущей кромкой с заготовкой постепенно увеличивается. Толщина среза a_i также продолжает увеличиваться, т. к. увеличивается угол ψ : $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где ψ – центральный угол от точки врезания зуба фрезы в заготовку при встречном фрезеровании до текущего его положения. После полного врезания зуба сила P_z будет увеличиваться по-прежнему, поскольку толщина среза по-прежнему увеличивается. В дальнейшем сила P_z уменьшается за счет уменьшения толщины среза по траектории движения режущей кромки перед выходом зуба из контакта с заготовкой. Наконец, при выходе зуба длина контакта между режущей кромкой и заготовкой уменьшается, и сила P_z уменьшается до нуля.

Когда вершина зуба врезается, его оказывается давящее воздействие на заготовку, поэтому сила P_y изначально положительна. Впоследствии, поскольку передний угол γ положителен, и сила, перпендикулярная передней поверхности, велика, для P_y существует диапазон отрицательных значений. В дальнейшем сила P_y быстро возрастает из-за постепенного увеличения длины контакта режущей кромкой с заготовкой и непрерывного увеличения толщины среза. После полного врезания зуба, хотя сила P_y всё еще увеличивается, скорость роста силы P_y замедляется, поскольку увеличивается только толщина среза, а длина контакта режущей кромкой с заготовкой остаётся неизменной. После выхода вершины зуба из заготовки, P_y остается неизменной из-за уменьшения длины контакта режущей кромки с заготовкой и увеличения толщины среза на оставшейся в контакте с заготовкой режущей кромки из-за наличия винтовой канавки. Затем сила P_z уменьшается по мере выхода оставшейся режущей кромки зуба из контакта с заготовкой.

Сила P_x представляет собой силу в осевом направлении фрезы и положительна, т. к. направлена вниз (вспомогательная режущая кромка на торце фрезы давит вниз, т. е. на заготовку). Когда вершина зуба врезается, длина контакта торцевой режущей кромки (вспомогательной режущей кромкой) с заготовкой является больше, чем длина контакта по главной режущей кромки, расположенной на периферии цилиндрической поверхности фрезы, и создаваемая сила (вниз вдоль оси фрезы) положительна, хотя и маленькая. В дальнейшем по мере врезания зуба в заготовку сила P_x начинает тянуть заготовку вверх из-за наличия положительной винтовой канавки на периферии фрезы (там расположена главная режущая кромка), поэтому сила P_x увеличивается в отрицательную сторону. По мере выхода зуба из контакта заготовки сила P_x уменьшается до нуля.

Итак, в процессе врезания зуба тангенциальная составляющая P_z силы фрезерования увеличивается, после полного врезания зуба она достигает максимального значения, а по мере выхода зуба сила фрезерования уменьшается. В отличие от встречного фрезерования при прямой стружечной канавке с $\omega = 0^\circ$, сила увеличивается не резко из-за постепенного входа

в контакт винтовой режущей кромки ($\omega \gg 0^\circ$). Сила P_z выполняет основную работу по удалению припуска, поэтому на острой фрезе она самая большая. После этого можно провести более сложное разложение сил фрезерования: с учётом величины переднего угла рассчитать нормальную N и касательную F физические составляющие силы, действующие на передней поверхности зуба фрезы. Их величина позволит построить эпюры контактных напряжений на передней поверхности зуба фрезы [6], что, в свою очередь, позволит задать внешние нагрузки на 3-D модель зуба фрезы и рассчитать её НДС [7].

Список литературы

1. Klimenov V., Kolubaev E., Anatoly K., Chumaevskii A., Ustinov A., Strelkova I., Rubtsov V., Gurianov D., Han Z., Nikonov S., et al. Influence of the Coarse Grain Structure of a Titanium Alloy Ti-4Al-3V Formed by Wire-Feed Electron Beam Additive Manufacturing on Strain Inhomogeneities and Fracture. *Materials*. 16 (2023) Article No. 3901. – DOI: 10.3390/ma16113901.
2. Dong Y.P., Tang J.C., Wang D.W. et al. Additive manufacturing of pure Ti with superior mechanical performance, low cost, and biocompatibility for potential replacement of Ti-6Al-4V. *Materials & Design*. 196 (2020) Article No. 109142. – DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109142.
3. Navneet Khanna; Kishan Zadafiya; et al. Review on machining of additively manufactured nickel and titanium alloys. *Journal of Materials Research and Technology*. 15 (2023) 3192–3221. – DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.09.088.
4. Hojati F., Daneshi A. et al. Study on machinability of additively manufactured and conventional titanium alloys in micro-milling process. *Precision Engineering*. 62 (2020) 1–9. – DOI: 10.1016/j.precisioneng.2019.11.002.
5. Martyushev N.V., Kozlov V.N. Qi, M. et al. Production of Workpieces from Martensitic Stainless Steel Using Electron-Beam Surfacing and Investigation of Cutting Forces When Milling Workpieces. *Materials*. 16 (2023) Article No. 4529. – DOI: 10.3390/ma16134529.
6. Kozlov V.N., Babaev A.S., Shults N.A. [et al.] Study of a Methodology for Calculating Contact Stresses during Blade Processing of Structural Steel / V.N. Kozlov, A.S. Babaev, N.A. Shults [et al.] // *Metals*. – 2023. – Vol. 13, Iss. 12. – Article number 2009, 16 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/met13122009>.
7. Анализ напряжённо-деформированного состояния зуба фрезы / В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан [и др.] ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // *Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции*, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред кол. А.И. Сечин, М.С. Кухта, А.А. Моховиков [и др.]. – Томск, 2024. – *Современные проблемы машиностроения*. – С. 209–211. – URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/77435>.

РАЗРАБОТКА АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Байдуров М.А.¹, Щербатов Г.Я.²

¹МБОУ лицей при ТПУ

e-mail: bajdurovmatvej03@gmail.com

²МБОУ лицей при ТПУ

Научный руководитель: Козлов В.Н., к.т.н., доцент ОмШ ИШНПТ

В наше время аддитивно-субтрактивные технологии набирают популярность. Это связано с тем, что в современном мире они используются во многих отраслях нашей жизни такие как: машиностроение, промышленность, медицина, проектирование и во многих других. Эти технологии, начиная с 18 века [1, 2], хорошо развивается, создаются разные кампании (самые популярные на данный момент это 3D Systems (Америка), СМЕТ, D-МЕС (Япония)), разные методы производства (на данный момент эксперты насчитывают более 30 различных запатентованных технологий, среди которых есть и наши, Томские) [3].

Субтрактивные технологии – это такие технологии, которые связаны с удалением материала. Основные виды субтрактивных технологий: 1) точение; 2) фрезерование; 3) резка; 4) сверление; 5) опиловка.

Аддитивные технологии – это такие технологии, которые синтезируют объекты послойным наращиванием материала [1] Самое большое распространение получили фаббер-технологии, в основе которых метод, при котором объект формируется поэтапным (послойным) наращиванием материала на основу.

Основные преимущества таких технологий это:

1. Возможность синтеза объектов сложных и разных форм.
2. Использование разных материалов (воск, гипс, фотополимеры, металлы), что позволяет выбирать нужные качества полученного объекта.
3. Экономия сырья (в случае аддитивных технологий).

Аддитивные технологии имеют разное исполнение (виды) [1, 2, 3]:

1. Селективное лазерное спекание (сокращенно СЛС или SLS) – объект формируется из специального плавкого порошка с помощью лазера. Из специальный картриджа на платформу насыпается тонкий слой порошка (он может иметь разный состав), после чего луч лазера нагревает в нужных местах порошок и спекает первый и последующие слои. Применяется в машиностроении, авиастроении, космонавтике и изготовлении деталей обширных установок. Черты данной технологии:

- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Необходимость вести процесс в герметичной емкости;
- Достаточно высокая скорость, которая зависит от мощности лазера и пятна его луча;
- Возможность изготовления объектов, которые имеют сложную форму.

2. Стереолитография (SLA) – самая известная технология трехмерной печати из полимеров. Объект формируется из специального жидкого полимера, который затвердевает под действием лазера. Лазер формирует на поверхности слой объекта, а затем погружает его в полимер, чтобы формировать следующий слой. Используется в микрооптике, в медицине, в дизайне. Черты данной технологии:

- Высокая точность построения модели;
- Очень большая скорость синтеза;
- Высокая стоимость оборудования и материалов.

3. Сплавляющее экструдерное осаждение (FDM) – объект формируется путем послойного синтеза объекта нитью из пластика, металла, воска и др. Расплавленная нить подается на охлаждаемую платформу. Черты данной технологии:

- Температура размягчённого материала немного отличается от температуры затвердевания;
- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Дешевизна.

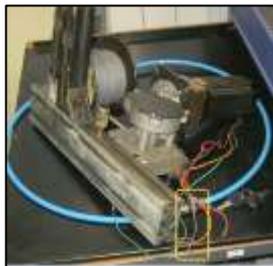


Рис. 1. Устройство для печати проволокой



Рис. 2. Объекты, изготовленные в НИ ТПУ
(обработанный сверху слева
и необработанный справа)

4. Баллистическое осаждение частиц (BPM) – технология, которая похожа на печать обычного принтера. Головка выбрасывает одинаковые маленькие капли материала, которые потом сглаживаются и формируются в гладкую поверхность, с помощью второй, нагревательной, головки. Черты данной технологии:

- Дешевизна;
- Низкая производительность.

5. Многослойное изготовление объектов (ламинирование) (LOM) – объект формируется из тонких листов материала и лазера. Каждый слой вырезается лазером и впоследствии склеивается. Используется в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Черты данной технологии:

- Для формирования нависающих элементов не нужны поддерживающие элементы;
- Удаление лишнего материала в некоторых случаях вызывает затруднение;
- Возможность выгодного производства не очень толстых деталей, имеющих большую площадь.

У каждой технологии есть свои плюсы и минусы, но в основном такое большое разнообразие техник исполнение обусловлено тем, чтобы обойти патент на какую-либо технологию.

В целом, разработка аддитивно-субтрактивные технологий имеет огромное развитие в будущем, но основная проблема в том, что такие технологии дорогие (как пример, цена 3D-принтера примерно 90 000 руб.), для того чтобы их интегрировать в повседневную жизнь [4].

Список литературы

1. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант // Конструктор: журн. – 2002. – № 1. – С. 5–7.
2. Слюсар В.И. Фабрика в каждый дом // Вокруг света: журн. – 2008. – № 1 (2808) (январь). – С. 96–102.
3. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: Новое средство трехмерного моделирования // Электроника: журн. – 2003. – № 5. – С. 138–144.
4. Григорьев С.Н. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С.Н. Григорьев, И.Ю. Смуров // Инновации: журн. – 2013. – Т. 10, № 180. – С. 76–82.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА (ОБЗОР)

*Ван Цзымин
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154А21,
e-mail: 932724415@qq.com*

С развитием обрабатывающей промышленности требования к эксплуатационным характеристикам материалов для режущего инструмента продолжают повышаться, а исследования, разработки и применение новых материалов для режущего инструмента стали ключевыми факторами, способствующими прогрессу технологии резки.

Типы и характеристики новых материалов для режущего инструмента

Керамические инструментальные материалы: включая керамические инструменты на основе нитрида кремния, керамические инструменты на основе оксида алюминия и т. д. Данный материал обладает высокой твердостью, износостойкостью и хорошей химической стабильностью. Может поддерживать стабильную производительность при высокоскоростной резке и повышать эффективность и качество обработки, но его прочность на изгиб и ударная вязкость относительно низки. Используется при чистовой обработке стали, чугуна, нечерные металлы и другие материалы.



Рис. 1. Инструмент из керамических материалов

Инструментальный материал из кубического нитрида бора (CBN): По твердости уступает только алмазу, обладает высокой термической стабильностью и химической инертностью. Находит применение при обработке материалов из черных металлов с высокой твердостью и прочностью, таких как закаленная сталь, чугун и т. д., что позволяет достичь высокоточной и высокоэффективной обработки изделий.



Рис. 2. Инструмент из кубического нитрида бора

Материалы для алмазного инструмента: его можно разделить на инструменты из натуральных алмазов и инструменты из искусственных алмазов. Он обладает чрезвычайно высокой твердостью, острыми режущими кромками, малым коэффициентом трения и малой силой резания. Он широко используется при обработке цветных металлов и неметаллических материалов, таких как алюминий, медь, графит, керамика и т. д. Применение данных материалов ограничивается стоимостью.



Рис. 3. Инструмент из алмаза

Металлокерамический инструментальный материал: Содержащий TiC или TiN в качестве твердой фазы и Ni, Mo и т. д. в качестве связующей фазы, он обладает высокой твердостью, износостойкостью и химической стабильностью, более износостойкий, чем твердосплавный сплав, и обладает хорошими режущими характеристиками и качеством поверхности. обработка чугуна.



Рис. 4. Инструмент из металлокерамических материалов

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ В МЕХАНИЗМАХ ДРЕВНЕГО КИТАЯ

Лю Сяоцзе, Лю Линъи
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154A22

Древняя техника передачи движения широко применялась во многих областях, начиная от астрономических приборов, сельскохозяйственной техники и до военной техники. Эта статья направлена на углубление исторического контекста, технических характеристик и откровений о современной механической инженерии древнего Китая. Анализируя типичные примеры применения, эта статья демонстрирует мудрость и технические достижения древних китайских ремесленников.

Общие понятия о зубчатых передачах

Шестерня является важным механическим звеном, широко применяемым в современных механических инженерных системах. Однако история технологии передачи уходит корнями в древние цивилизации. В древнем Китае проект шестерни достиг довольно высокого уровня и сыграл важную роль в нескольких областях.

Исторический контекст и технические достижения Древнего Китая

Древний Китай известен своими инженерными достижениями, которые охватывают широкий спектр технологий, от сельскохозяйственных орудий до оборонительных сооружений и водных машин. Одним из важных направлений развития были механизмы для повышения производительности труда и защиты территории. Механизмы с зубчатыми передачами играли ключевую роль в этих достижениях, особенно в таких областях, как подъемные устройства, механизмы для измерения времени и оборонные конструкции.

Первые упоминания зубчатых передач датируются 206–220 гг. Шестерня использовалась в основном для астрономических приборов, водяных часов и других механических устройств. Астроном во времена династии Восточная Хань Чжан Хэн изобрёл небесный глобус, инструмент для наблюдения движения небесных тел, в котором используются шестерни для моделирования движения небесных тел. Устройство вращалось со скоростью один оборот в день при помощи захватного устройства, которое приводилось в действие водяным колесом.



Рис. 1. Муталит (небесный глобус)

Одним из ярких примеров использования зубчатых передач в Древнем Китае являются водяные часы. Эти устройства были распространены в IV–III веках до н. э. Водяные часы использовали принцип подачи воды через систему каналов, где вода регулировалась с помощью зубчатых колес. Когда вода заполняла сосуд, она приводила в движение зубчатые колеса, кото-

рые в свою очередь приводили в движение стрелки часов. Применение зубчатых колес в таких механизмах позволило добиться высокой точности и стабильности в измерении времени.

Кроме того, были известны устройства для автоматического контроля подачи воды, использующие зубчатые передачи для регулировки потоков. Это решение позволило обеспечивать постоянство и точность работы водяных часов.

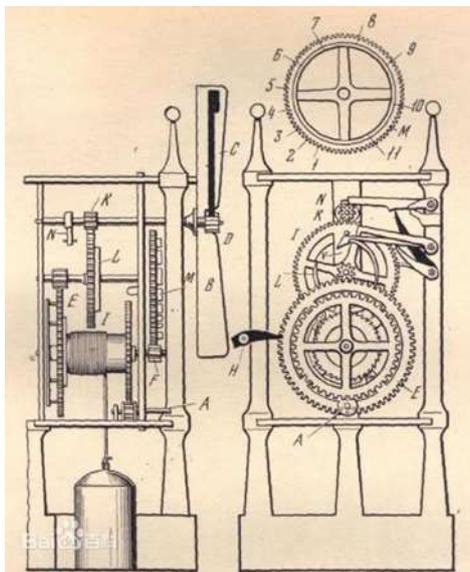


Рис. 2. Водяные часы

Это малая часть устройства древнего Китая в которых применялись зубчатые передачи.

Материалы зубчатых колес

Древние шестерни были изготовлены из дерева, бамбука, бронзы и других материалов. В то время эти материалы были относительно легко доступны и обрабатывались. Дерево и бамбук имеют хорошую гибкость и легкость, которые применяются к изготовлению небольших зубчатых колес. Бронза обладает высокой устойчивостью к коррозии, и применяется к изготовлению колес, работающих при больших скоростях.

Форма зубьев

Древние зубчатые шестерни имели относительно простую форму и структуру. Многообразие зубчатых зубов – прямоугольник или трапеция, без точных зубчатых форм, как современные шестерни. Простой зубчатый дизайн, хотя и не очень точный, был достаточным, чтобы удовлетворить потребности в использовании в то время. Древние ремесленники постепенно оптимизировали конструкцию шестерни, повышая эффективность передачи, экспериментируя и практикуя.

Технология производства

Изготовление зубчатых колес имеет несколько методов ручной резки или литья. Несмотря на то, что точность была невелика, древние мастера могли создавать качественные шестерни с помощью превосходного мастерства и большого опыта. Метод ручной резки относится к изготовлению небольших зубчиков, в то время как метод литья относится к изготовлению больших. Древние мастера также изобрели некоторые вспомогательные инструменты и оборудование, такие как скульптурные ножи, плесени и т. д., что повышало эффективность и точность производства шестерни.

Заключение: Влияние на развитие мировой науки

Зубчатые передачи в Древнем Китае оказали заметное влияние на развитие мирового технологического наследия. Хотя их использование не получило такого широкого распространения, как в Европе в Средние века, китайские инженеры и изобретатели сыграли важную роль в развитии механики. Эти достижения в значительной степени способствовали развитию более сложных механических устройств и улучшению качества жизни в Китае, а также повлияли на развитие техники в других странах.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДРЕВНЕМ КИТАЕ

Чжоу Юйцзе; Дун Хуэйюй; Ван Ижу

¹*Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 154А22*

Механические технологии древнего Китая отражают мудрость и изобретательность китайского народа. Хотя механические технологии Китая в древности не получили такого же широкого документирования, как в западной культуре, они сыграли важную роль в таких ключевых областях, как водное хозяйство, сельское хозяйство, военное дело и архитектура. В данной статье рассматриваются некоторые аспекты механических технологий и изобретений древнего Китая.

1. Водные механизмы

Древний Китай имеет долгую историю водных инженерных сооружений, и уже в V веке до н. э. в период Чуныцю и Цзаньго были изобретены различные водные механизмы. Эти механические устройства не только поддерживали сельское хозяйство, но и способствовали развитию городов.

Дучжянь: Одним из самых известных водных инженерных сооружений Китая является водная система Дучжянь, расположенная в провинции Сычуань. Она была спроектирована и построена Ли Бином и его сыном Ли Эрланом в III веке до н. э. Система использовала естественные потоки воды, регулируя их для распределения и отвода воды, что обеспечивало орошение огромных сельскохозяйственных угодий и предотвращало наводнения. Сложная система регулирования водных потоков включала различные механические принципы, такие как водяные колеса и правильно размещенные каналы.

Водяное колесо: Водяное колесо было важным механическим устройством, широко используемым в сельском хозяйстве для орошения. Оно работало на основе рычажного или колесного принципа и использовалось для подъема воды с низших уровней на более высокие. Это устройство сыграло важную роль в сельском орошении в Древнем Китае.

2. Сельскохозяйственные механизмы

Сельское хозяйство было основой экономики древнего Китая, и многие механические изобретения были тесно связаны с сельскохозяйственным производством.

Обычные быки и плуг: Древний Китай уделял большое внимание использованию природных ресурсов, и использование быков для пахоты значительно повысило эффективность обработки земли. Плуг, являющийся важным сельскохозяйственным инструментом, прошел эволюцию от простых деревянных до металлических конструкций, что способствовало механизации сельского производства.

Водяная и ветряная мельница: Водяные и ветряные мельницы использовались в древнем Китае для помола зерна с использованием природных источников энергии. Водяная мельница использовала силу воды для вращения мельничного колеса, а ветряная – силу ветра. Эти механизмы значительно повысили эффективность переработки зерна и широко использовались в Древнем Китае.

3. Архитектурные и военные механизмы

Древний Китай также достиг значительных успехов в области архитектуры и военных технологий, особенно в применении механизмов в войнах.

Деревянные быки и лошади: Деревянные быки и лошади – это транспортные средства, сделанные из дерева и бамбука, которые имели форму быка или лошади и могли двигаться самостоятельно, служа для перевозки войск и материалов. По историческим данным, эти устройства были изобретены в период Трех царств, и Чжугэ Лян использовал их для решения проблемы нехватки транспортных средств в армии.

Катапульта и арбалет: В древних войнах катапульти и арбалеты играли ключевую роль в качестве военных механизмов. Катапульта использовала принципы рычага и упруго-

сти для дальнобойного метания камней, что наносило большой урон вражеским силам. Арбалет же был высокоэффективным дальнобойным оружием, использующим механизмы для автоматического запуска стрел, имея при этом большую разрушительную силу.

4. Ткацкие и ремесленные механизмы

Ткацкая и ремесленная промышленность были важной частью экономики Древнего Китая, и изобретения в области механики в этих сферах играли активную роль.

Ткацкий станок: Древний китайский ткацкий станок, особенно в процессе развития, прошел от ручного к полусамодельствующему. С помощью простых рычагов и зубчатых механизмов ткацкий станок увеличивал производительность ткани, поддерживая развитие шелковой промышленности Китая.

Типографская машина: хотя изобретение подвижного шрифта произошло в эпоху Сун, в период Тан уже использовалась технология ксилографии. Машина для печати с помощью деревянных блоков и механического давления позволяла массово производить книги и литературу. Это изобретение оказало революционное воздействие на распространение знаний.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что механические технологии Древнего Китая достигли значительных успехов в различных областях, особенно в водном хозяйстве, сельском хозяйстве, военном деле и архитектуре. Несмотря на то, что механические изобретения в Древнем Китае не развивались в таких масштабах, как на Западе, их практическое значение и инновационный подход оказали глубокое влияние на последующие поколения. Эти изобретения показывают, как древние китайцы применяли научные принципы в повседневной жизни и свидетельствуют о высоком уровне китайской инженерной и научной мысли

Список литературы

1. Хоу Чжэ, «История механической инженерии в Древнем Китае», Пекин: Научное издательство, 2010 г.
2. Шэнь Куа, «Мечтание о ручке (Мэнсинь битан)», Пекин: Издательство Чжунхуа, 1995 г.
3. Ван Лицзюнь, «История науки и техники в Древнем Китае», Пекин: Издательство высших учебных заведений, 2008 г.
4. Ли Сяохуа, «Древнекитайские водные и механические технологии», Шанхай: Шанхайское научно-техническое издательство, 2003 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ ВЧЕРА – СЕГОДНЯ – ЗАВТРА (ОБЗОР)

У Вэньфэн, Цао Сяохуэй

Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 4А22,

e-mail: uv02@tpu.ru

Целью данной работы является изучение истории развития и основных типов механической передачи в старинных машинах, а также ее важное влияние на древнее общественное производство и научно-технический прогресс. Благодаря изучению исторических документов и анализу древних механических реликвий раскрываются мудрость и достижения древней технологии механической трансмиссии, что дает ценную историческую справку для развития современной технологии механической трансмиссии.

Механическая трансмиссия – это ключевая технология, которая передает мощность от одного компонента к другому для достижения механического движения. В древние времена, чтобы удовлетворить потребности производства и жизни, люди продолжали исследовать и изобретать различные устройства механической передачи. Эти устройства не только повышали эффективность производства, но и способствовали развитию древней науки и техники. Изучение механической трансмиссии в древних машинах поможет нам лучше понять развитие древней науки и техники и воплощение человеческой мудрости в области механики.

В древние времена люди начали использовать простые принципы механической передачи для содействия производству и жизни. Например, использование рычажных принципов для подъема и переноски тяжелых предметов можно рассматривать как одну из наиболее примитивных форм механической передачи. С развитием человеческой цивилизации появились некоторые более сложные механические устройства, например шкивы, которые позволяют добиться более эффективного подъема предметов за счет изменения направления и величины силы. Эти первые простые трансмиссионные устройства заложили основу для последующего развития технологии механической трансмиссии.

В Китае мандарин широко использовался в весенний и осенний период. *Jijue* – это инструмент для орошения, в котором используется принцип рычага и веревочная передача. Он меняет направление силы, чтобы людям было легче брать воду из колодцев для орошения сельскохозяйственных угодий. Это простое и эффективное устройство механической передачи сыграло важную роль в древнем сельскохозяйственном производстве, повышая эффективность орошения и способствуя развитию сельского хозяйства.

Согласно исследованиям, еще в период Воюющих царств династии Западная Хань появились шестерни, важный символ механической передачи. Большинство зубчатых передач в древнем Китае изготавливались из дерева или металла. Их формы и конструкции постоянно совершенствовались и оптимизировались, постепенно формируя относительно зрелую технологию зубчатых передач. Например, зубчатые передачи широко использовались в древних китайских водяных колесах. Благодаря зацеплению шестерен кинетическая энергия воды передавалась вращающимся частям водяного колеса, тем самым реализовывая функцию подъема воды и орошения.

Ременные передачи зародились в Китае, где они появились еще в первом веке до нашей эры. Самое раннее появление ременной передачи тесно связано с развитием шелковой промышленности Китая. Первоначально он использовался для передачи прялок. Позже технология ременной передачи постепенно распространилась в другие страны и регионы и получила широкое распространение.

Веревоочная передача – древний метод механической передачи. Еще в древние времена люди начали использовать веревки для передачи энергии. Принцип канатной передачи заключается в передаче мощности от одного компонента к другому посредством намотки и

растяжения канатов. В древности веревочная передача в основном применялась в некоторых простых механических устройствах, например лебедках, кранах и т. д.

Применение древних механических передаточных устройств значительно повысило эффективность производства. Например, появление механических устройств, таких как водяные колеса и зерновые мельницы, позволило людям более эффективно осуществлять производственную деятельность, такую как орошение и обработка зерна, экономя рабочую силу и время и обеспечивая мощную поддержку экономическому развитию древнего общества.

Распространение и обмен древними технологиями механической трансмиссии способствовали культурному обмену между различными регионами и этническими группами. Например, китайские технологии производства бумаги, печати и другие технологии распространились в Европу через Шелковый путь, включая некоторые технологии устройств механической передачи. Распространение и обмен этими технологиями не только способствовали научно-техническому прогрессу в Европе, но также способствовали обмену и интеграции мировых культур.

Заключение

Технология механической передачи в древних машинах представляет собой кристаллизацию человеческой мудрости, и процесс ее развития был долгим и извилистым. От ранних простых трансмиссий до важных событий в древних цивилизациях, до наследования и развития в средние века и далее, древние технологии механических трансмиссий продолжали развиваться, образуя различные типы, такие как зубчатая передача, ременная передача и веревочная передача. Применение этих технологий механической передачи повысило эффективность производства, способствовало научно-техническому прогрессу, способствовало культурному обмену и оказало глубокое влияние на развитие древнего общества. Изучение механической трансмиссии в древних машинах не только помогает нам понять процесс развития древней науки и техники, но также дает ценный опыт и вдохновение для развития современных технологий механических трансмиссий. В будущем развитии мы должны в полной мере опираться на мудрость древней технологии механической трансмиссии, продолжать внедрять инновации и развиваться, а также продвигать технологию механической трансмиссии на более высокий уровень.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «БАРАБАН (ПЕРЕДНЯЯ ЧАСТЬ)»

Цуй Шуан
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 154А11,
e-mail: ts012@tpu.ru

Барaban используется в механизмах передачи вращательного движения, таких как коробки передач, редукторы и тормозные системы. Он представляет собой цилиндрическое тело с элементами крепления и посадки, включая отверстия и канавки для взаимодействия с сопрягаемыми деталями.

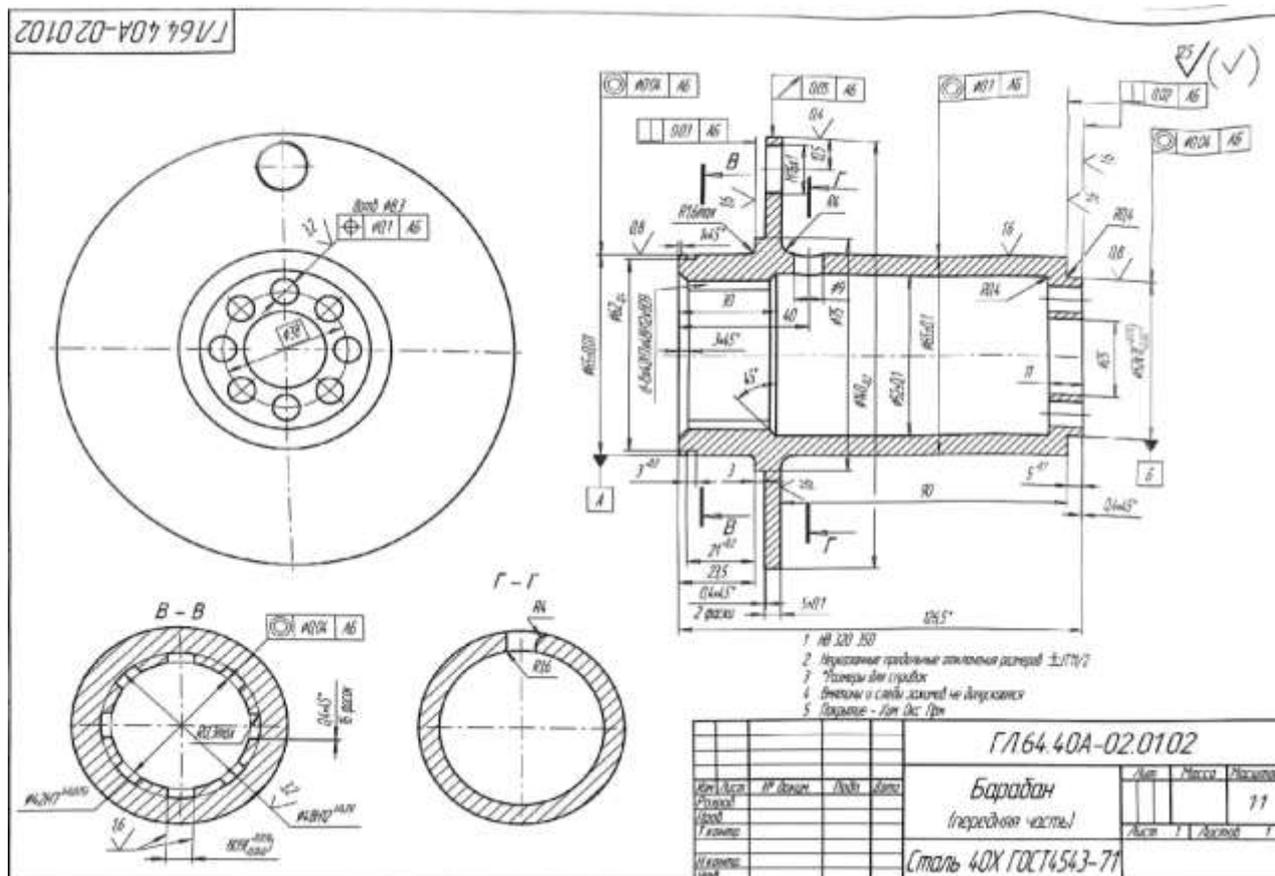


Рис. 1. Чертеж анализируемого изделия «Барaban (передняя часть)»

При изготовлении детали будут выполняться следующие технологические операции: точение, сверление и т. д. В ходе изготовления детали требуются дополнительные шлифовальные операции, с целью достижения шероховатости порядка $Ra = 0,8-3,2$ мкм.

Материал барабана – конструкционная легированная сталь 40Х по ГОСТ 4543-71. Эта сталь характеризуется повышенной прочностью и износостойкостью, благодаря чему широко применяется для производства нагруженных деталей. Сталь 40Х является легированной хромистой сталью, что обеспечивает ей защиту от коррозии. Высокое содержание углерода придает сплаву прочность и твердость, хром также усиливает эти качества. Сталь 40Х редко применяется для изготовления сварных конструкций из-за ограниченной свариваемости сплава, требующей предварительной и последующей термической обработки изделия.

Сталь 40Х – улучшаемый сплав, термическая обработка позволяет повысить характеристики металла. Сталь 40Х подвергают закаливанию и отпуску. Закаливанию проводится в

масле, это благоприятно сказывается на качестве верхнего слоя. Охлаждение желательно проводить в масле. Если это невозможно из-за размеров заготовки, используется воздушная среда. Категорически не рекомендуется охлаждать изделие в воде, т. к. это приводит к таким дефектам, как образование окалины. Отпуск также проводится в масле, эта процедура позволяет снизить внутреннее напряжение металла, возникшее в результате обработки. Грамотно проведенная термическая обработка существенно повышает эксплуатационные сроки материала. Твердость стали после обработки повышается до 217 НВ. Температура закаливания составляет 860 °С. Температура отпуска зависит от среды. На воздухе она составляет 200 °С, а в масляной ванне 500 °С.

Оценка параметров технологичности детали

Преимущества материала 40X:

1. Высокая прочность и износостойкость: Сталь 40X обладает хорошими характеристиками прочности и усталостной прочности, что делает её идеальной для использования в барабанах, которые подвергаются динамическим нагрузкам.

2. Легкость в термической обработке: благодаря легированию хромом и молибденом, сталь 40X хорошо поддается термообработке. Это позволяет достичь необходимых эксплуатационных характеристик, таких как повышенная твердость и улучшенная коррозионная стойкость.

3. Устойчивость к перегреву: Сталь 40X сохраняет свои механические свойства даже при высоких температурах, что важно для барабана, который может работать при повышенных температурах.

Недостатки материала 40X:

1. Высокая стоимость: в отличие от углеродистых сталей, легированная сталь 40X стоит дороже. Это увеличивает стоимость производства барабана, особенно при массовом производстве.

2. Сложность обработки: несмотря на хорошие механические свойства, сталь 40X требует применения высококачественных инструментов для обработки, что может увеличить время и затраты на производство.

3. Возможность хрупкости при низких температурах: при очень низких температурах сталь 40X может стать более хрупкой, что важно учитывать при эксплуатации в холодных условиях.

Экономическая целесообразность:

Несмотря на относительно высокую стоимость, использование стали 40X экономически оправдано, так как её долговечность, высокая прочность и усталостная прочность оправдывают дополнительные затраты на материал.

С точки зрения технологичности конструкции данного барабана следует сказать, что данный барабан нетехнологичен, так как содержит сложные поверхности.

Заготовка для данной детали технологична, так как она получена отливкой с максимально возможным приближением ее формы и размеров к форме и размерам барабана.

Таким образом, конструкция барабана характеризуется высоким уровнем сложности из-за строгих требований к точности, шероховатости и термообработке. Однако унифицированная форма и использование стандартных конструктивных элементов делают его производственно выгодным при серийном и массовом производстве.

РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ И ДРУГИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ЦЕЛЫХ УЗЛОВ

*Шейерман Ю.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А12,
e-mail: yds3@tpu.ru*

3D-печать, или аддитивное производство, представляет собой инновационное изобретение, которое позволяет создавать трехмерные объекты из компьютерных 3D-моделей. Она является ведущим направлением современного производства и значительно меняет подходы к изготовлению изделий. Метод заключается в добавлении материалов слоями, отличаясь тем самым от стандартных методов производства, например, литья или механической обработки материала.

Историческая перспектива

Развитие 3D-технологий берет свое начало в 1980-х годах, когда были разработаны первые продвинутое решения, такие как стереолитография (SLA), созданная Чаком Халлом. Изначально эти системы применялись преимущественно для создания прототипов в рамках ускоренного производственного процесса. С течением времени технологии совершенствовались, и в 1990-х стали доступны такие методы, как лазерное спекание (SLS) и производство плавленных нитей накала (FDM). В начале 2000-х годов произошел прорыв, связанный с открытием свободного доступа к 3D-печати благодаря появлению бюджетных настольных принтеров, что позволило значительно расширить круг пользователей этой технологии.

Применение в разных секторах экономики

Технологии 3D-печати нашли широкое применение во многих сферах промышленности. В медицинской сфере они используются для создания прочных протезов, зубных имплантатов и даже искусственных органов. Однако медицина – это лишь одна из областей применения. В авиационной и автомобильной промышленности 3D-принтеры позволяют изготавливать легкие, но при этом высокопрочные компоненты, которые обладают оптимальной массой и способствуют экономии топлива. Архитекторы тоже активно применяют эту технологию для создания точных макетов зданий, что делает проектирование более детализированным и эффективным.

Эволюция технологий

Усовершенствования в области 3D-распечатки связаны с развитием новых материалов и методов печати. Появление многокомпонентных и композитных материалов способствует созданию изделий с улучшенными физическими характеристиками. Особое внимание заслуживает 3D-металлопечать, открывающая новые перспективы для машиностроительной и высокотехнологичной индустрии. Современные программы автоматизированного проектирования (CAD) позволяют проектировать модели с высокой точностью, учитывая индивидуальные требования заказчиков.

Современные достижения в области искусственного интеллекта и машинного обучения также оказывают значительное влияние на 3D-индустрию. Эти технологии помогают оптимизировать процессы печати, предсказывать потенциальные дефекты и улучшать качество конечной продукции.

Экономия и экология

Применение 3D-оборудования дает ряд экономических преимуществ. Уменьшение сроков разработки и возможность производства под заказ сокращают запасы и затраты. Кроме того, данная технология минимизирует отходы, так как расходуется ровно столько материала, сколько необходимо, в отличие от традиционных методов, предполагающих избыточную обработку сырья.

Вопросы экологии становятся всё более актуальными в контексте 3D-производства. Многие компании переходят на использование биоразлагаемых и переработанных материалов, что снижает вредное воздействие на природу. Локализация производства с помощью 3D-технологий также уменьшает углеродный след за счет сокращения транспортных расходов и выбросов.

Перспективы развития

Перспективы 3D-расширения выглядят весьма радужно. Предполагается, что в ближайшем будущем эта технология станет неотъемлемой частью массового производства, кардинально меняя подходы к выпуску товаров. В частности, ожидается появление сложных многослойных конструкций, объединяющих разные материалы для достижения необходимых свойств.

Кроме того, стремительный прогресс в области дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR) позволит ускорить интеграцию 3D-проектирования в производственные процессы, особенно в таких сферах, как инженерная разработка и промышленный дизайн.

Таким образом, 3D-печать занимает центральное место в современном производстве, открывая двери для инновационных решений и устойчивого развития бизнеса в современных условиях рынка.

СЕКЦИЯ 4
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК Al-Fe₂O₃-Fe и Ti-Fe₂O₃-Fe-C

Сафронова В.С.¹, Князева А.Г.², Коростелева Е.Н.²

¹ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ4К,

e-mail: vss97@tpu.ru

²ИФПМ СО РАН,

e-mail: anna-knyazeva@mail.ru, elenak@ispms.ru

Введение

Композиционные материалы (КМ) обладают уникальными свойствами, неприсущие отдельным составляющим компонентам. Структурно композиционные материалы – это гетерогенные системы, состоящие из матрицы и армирующих элементов. Матрица под воздействием нагрузок распределяет напряжения, вследствие чего материал более устойчив к возникновению дефектов, чем простые материалы, а упрочняющие составляющие обуславливают повышенные прочностные и жесткостные характеристики. Металломатричные композиты, как правило, содержат в составе интерметаллиды, имеющие упорядоченную структуру и относительно высокую температуру плавления, и тугоплавкие включения, такие как карбиды, оксиды и т. д., из-за которых материал имеет высокую жаропрочность. Например, ключевым вопросом в повышении температуры рабочего тела в газотурбинных двигателях является выбор высокотемпературных материалов, на роль которых подходят композиты на основе Nb-Si [1]. Также в электротехнике важную роль играют разрывные контакты, которые должны обладать высокой стойкостью к эрозии. Для сильноточных разрывных контактов применяются металломатричные композиты с тугоплавкими включениями, в качестве которых используют тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден), либо тугоплавкие соединения. Из медноматричных композитов с упрочняющими частицами, наиболее детально исследованы композиты с карбидом титана (TiC-Cu) и диборидом титана (TiB₂-Cu). Они имеют высокую температуру плавления и хорошую совместимость с медной матрицей [2]. При утилизации отходов машиностроительных производств стальную стружку, содержащую оксиды железа, можно использовать как компонент в смеси с титаном и алюминием для получения композитов, когда упрочняющие частицы синтезируются в условиях спекания.

В настоящей работе предложены термо-кинетические модели спекания порошков состава Al-Fe₂O₃-Fe и Ti-Fe₂O₃-Fe-C.

Эксперимент

В условиях эксперимента порошковые компакты, предварительно подвергшиеся шаровому измельчению и прессованию, помещали в вакуумную печь и спекали на протяжении часа. Спекание исследовано на примере порошковых композиций для разных вариантов сочетания компонентов: а) Ti + (Fe + Fe₂O₃ + C) → 40 вес. % Ti + 60 вес. % (Fe + Fe₂O₃ + C); б) Fe + Al + Fe₂O₃ → 25 вес. % Al + 75 вес. % (Fe + Fe₂O₃). Обнаружено, что продукт спекания имеет сложный фазовый состав.

Предварительный анализ [3] показывает, что в смесях термодинамически возможны реакции результатом которых ожидается металломатричный композит с упрочняющими оксидными частицами. В табл. 1 приведены химические реакции, которые вероятнее всего протекают в прессовках.

Таблица 1

Al-Fe ₂ O ₃ -Fe	Ti-Fe ₂ O ₃ -Fe-C
Al + Fe = FeAl (V)	3Ti + 2 Fe ₂ O ₃ = 3TiO ₂ + 4Fe (XI)
FeAl + Al = FeAl ₂ (VI)	Ti + Fe = TiFe (XII)
FeAl + 2Fe = Fe ₃ Al (VII)	TiFe + Ti = Ti ₂ Fe (XIII)
FeAl ₂ + Al = FeAl ₃ (VIII)	TiFe + Fe = TiFe ₂ (XIV)
FeAl ₂ + FeAl ₃ = Fe ₂ Al ₅ (IX)	Ti + C = TiC (XV)
Al + Fe ₂ O ₃ = Al ₂ O ₃ + Fe (X)	

Математическая постановка

В условиях эксперимента [4,5] размер образца пренебрежимо мал по сравнению с объемом печи, поэтому допустимо использовать нульмерную постановку задачи, в которой не учитывается распределение температуры по объему прессовки. В этом случае изменение температуры описывается уравнением баланса тепла, а изменение состава – системой кинетических уравнений, соответствующих выбранным последовательностям стадий.

Предполагается, что скорости реакций зависят от температуры по закону Аррениуса, а от концентраций в соответствии с законом действующих масс. В модели учитывается разная скорость нагрева, плавление и связанное с этим изменение теплоемкости с повышением температуры аналогично [6].

Для расчета термодинамических и кинетических параметров, таких как, энтропия образования, энтальпия, энергия активации, предэкспоненциальный фактор в уравнении Аррениуса, использовались полуэмпирические и теоретические методы, изложенные в [7–9].

Полученные для каждой порошковой смеси дифференциальные уравнения решали неявным методом Эйлера 1-го порядка точности, являющимся абсолютно устойчивым. Примеры расчетов приведены на рис. 1:

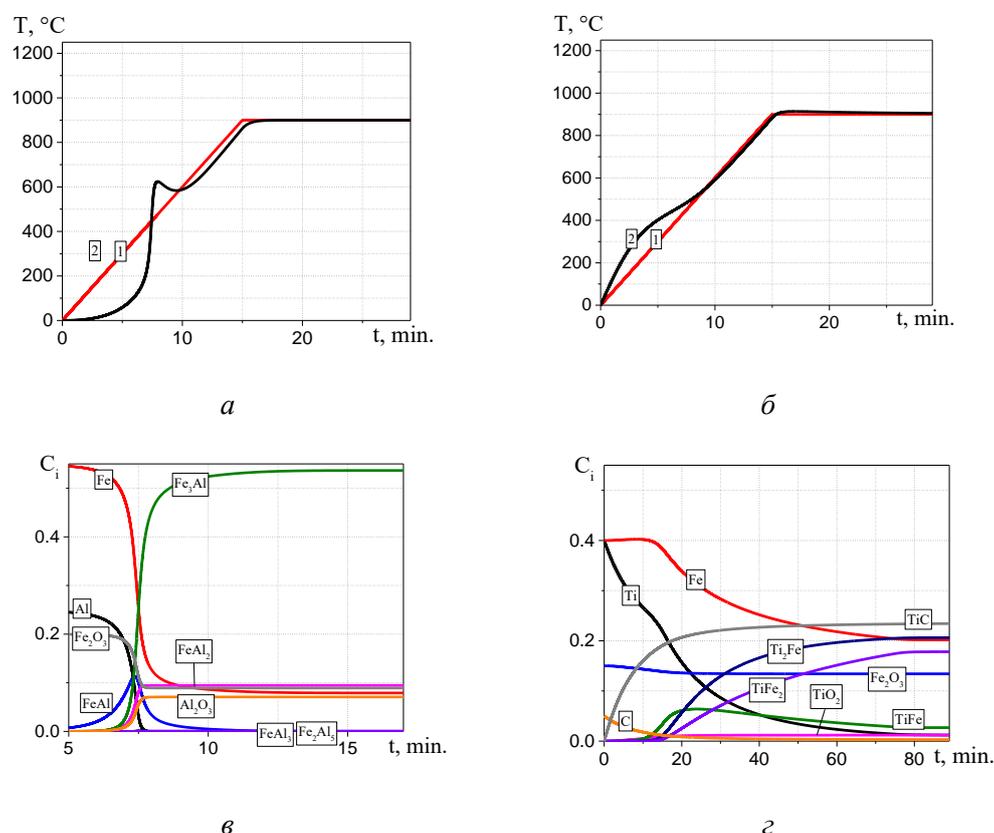


Рисунок 1 – для состава: $Fe+Al+Fe_2O_3$: (а) – изменение температуры, (в) – изменение концентраций; для состава $Ti+(Fe+Fe_2O_3+C)$: (б) – изменение температуры, (з) – изменение концентраций

Заключение

Полученная численная модель позволяет проследить ход фазообразования в порошковых прессовках выбранного состава. Результаты моделирования можно сравнивать с результатами эксперимента с целью идентификации параметров и последующего предсказания конечного состава.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда и субсидии Администрации Томской области, грант № 22-13-20031, <https://rscf.ru/project/22-13-20031/>

Список литературы

1. Высокотемпературные композиты на основе системы Nb–Si, армированные силицидами ниобия / Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Карпов М.И., Нейман А.В., Мин П.Г., Карачевцев Ф.Н. // *Материаловедение*. – 2017. – № 2. – С. 24–32.
2. Прибытков Г.А. Исследование продуктов синтеза в механоактивированных смесях титанидов меди с углеродом / Г.А. Прибытков, А.В. Барановский, В.В. Коржова, И.А. Фирсина, К.О. Акимов, В.П. Кривопапов // *Химическая физика и мезоскопия*. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 103–112.
3. Лякишев Н.П. Диаграмма состояния двойных металлических систем: справочник, в 3 т. – Москва: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.
4. Коростелева Е.Н., Князева А.Г., Анисимова М.А., Николаев И.О. // *Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. – 2023. – 17, № 2. – С. 5–13.
5. Коростелева Е.Н., Князева А.Г., Николаев И.О. Особенности фазообразования в условиях реакционного спекания с восстановительной стадией // *Физическая мезомеханика*. – 2022. – Т. 25, № 5.
6. Сафронова В.С. Исследование фазообразования и сопутствующих процессов при реакционном спекании порошков Ti + CuO / В.С. Сафронова, А.Г. Князева, Е.Н. Коростелева // *XI Информационная школа молодого ученого : Сборник научных трудов, Екатеринбург, 18–21 сентября 2023 года*. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2023. – С. 255–264.
7. Knyazeva, A.G. Simulation of the synthesis of multiphase composites on a substrate, taking into account the staging of chemical reactions / A.G. Knyazeva, O.N. Kryukova // *Applied Solid State Chemistry*. – 2019. – No. 1(6). – P. 32–44. – DOI: 10.18572/2619-0141-2019-1-32-44.
8. Glesson S., Laidler K., Eyring G. *The theory of absolute speeds*. Moscow: Publishing house of foreign. lit., 1948. – 600 p.
9. Miedema A.R., Chatel P.F., Boer F.R., de Chatel P.F., de Boer F.R., *Cohesion in alloys – fundamental of a semi-empirical model* // *Physica B*. – 1980. – 100. – P. 1–28.

ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Жукова Т.В.¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск
e-mail: zhu-tanya@yandex.ru

Введение

Важной задачей в сфере металлургии цветных металлов является повышение механических свойств литых алюминиевых сплавов. Исследователи проявляют повышенный интерес к поиску доступного и эффективного армирующего материала для алюминиевых сплавов, получаемых методом литья. Природные материалы, такие как базальтовые волокна, привлекают внимание благодаря своим высоким физико-механическим характеристикам, простоте производства и низкой стоимости. Изучение влияния базальтовых волокон на литейные алюминиевые сплавы типа АК9 и А7 является актуальной темой, так как эти сплавы широко используются в автомобильной, пищевой и авиационной промышленности. В рамках данной работы алюминиевый сплав АК9 был упрочнён измельченными базальтовыми волокнами в количестве 1 % и 2 % масс. %. Базальтовые волокна также были введены в сплав А7 в количестве 5 масс. %.

Экспериментальная часть

Исходными материалами для получения упрочнённых сплавов являлись алюминиевые сплавы А7 и АК9. Сплавы были получены методом литья в стальной кристаллизатор с применением виброобращонной обработки расплава непосредственно перед заливкой. Алюминиевый сплав марки А7 нагревали до температуры 780 °С. После полного расплавления металла производилось перемешивание расплава механическим смесителем с одновременным порционным введением базальтовых волокон в количестве 5 масс. %. Волокна предварительно помещали в алюминиевый контейнер и нагревали до температуры 200°С. После завершения механической обработки производилась ультразвуковая обработка расплава. Заливка металла осуществлялась в стальной кристаллизатор, который располагался на вибрационном столе (частота колебаний 60 Гц). Кристаллизация расплава происходила при комнатной температуре. Введение волокон базальта в сплав АК9 осуществлялось при аналогичных условиях с тем отличием, что отсутствовала ультразвуковая обработка и содержание волокон составило 1 и 2 масс.%. Цветная металлография сплавов была получена на оптическом микроскопе Метам ЛВ-34 посредством электрохимического травления в растворе Баркера.

Результаты и их обсуждение

Были получены 7 различных сплавов: А7+5 масс. % базальтовых волокон (БВ) + ультразвуковая обработка (УЗ)+вибрационная обработка (ВО), А7 без использования обработок, А7+УЗ, А7+УЗ+ВО, АК9+1 масс. % БВ+ВО, АК9+2 масс. % БВ+ВО, АК9 без обработок.



Рис. 1. А7 исходный ($\langle d \rangle = 628$ мкм)



Рис. 2. А7 + 5 масс. % БВ + УЗ + ВО ($\langle d \rangle = 451$ мкм)

Из полученных изображения структур (рис. 1–2) установлено, что ультразвуковая и вибрационная обработки не влияют на средний размер зерна алюминиевого сплава А7, т. к. средний размер зерна для сплава А7+УЗ составил 749 мкм и для сплава А7+УЗ +ВО 750 мкм. Средний размер зерна сплава А7, упрочнённого 5 масс. % БВ, составил 451 мкм.

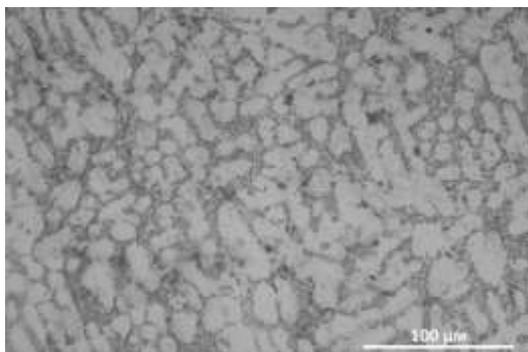


Рис. 3. АК9 исходный ($\langle d \rangle = 20$ мкм)

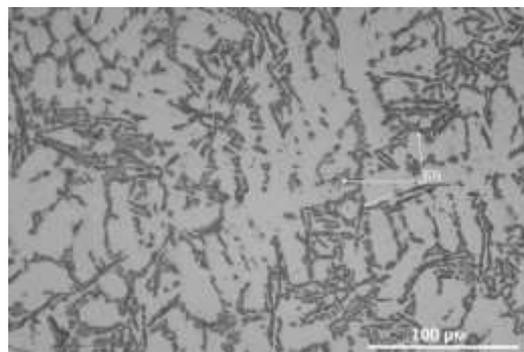


Рис. 4. АК9 + 1 масс. % БВ ($\langle d \rangle = 26$ мкм)

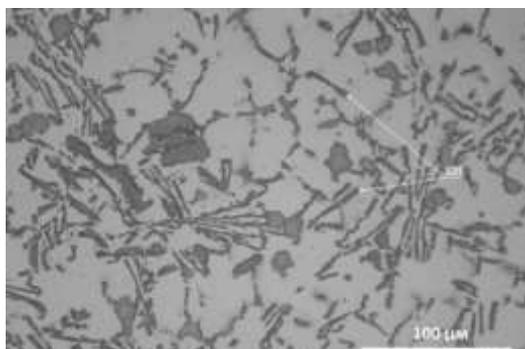


Рис. 5. АК9 + 2 масс. % БВ ($\langle d \rangle = 32$ мкм)

Введение БВ в алюминиевый сплав АК9 привело к увеличению среднего размера дендритной ячейки с 20 мкм для исходного сплава АК9 (рис. 3) до 26 мкм для сплава АК9 с 1 масс.% БВ (рис. 4) и 32 мкм для сплава АК9 с 2 масс.% БВ (рис. 5). Исходный сплав АК9 представлен дендритной доэвтектической структурой. Введение 1 масс. % БВ привело к изменению эвтектической зоны – вероятно, что базальтовые волокна расположились в междендритных областях. Повышение концентрации БВ до 2 масс. % привело к изменению структуры на заэвтектическую и образованию кристаллов первичного кремния.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что введение базальтовых волокон в количестве 5 масс. % в сплав А7 в комбинации с различными видами внешних обработок расплава приводит к уменьшению размера зерна сплава на 28 %, в сравнении с исходным сплавом. Также было установлено, что введение 1 и 2 масс. % БВ приводит к изменению структуры и размеров дендритной ячейки сплава АК9 с 20 мкм и доэвтектического строения до 32 мкм и заэвтектического строения. Данное изменение строения сплава говорит о диффузии кремния из базальтовых волокон в алюминий.

ВЛИЯНИЕ ПРОБОПОДГОТОВКИ НА СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Лиханосова У.А.¹, Станько А.Ю.²

¹*Томский политехнический университет, отделение материаловедения,
e-mail: ual1@tpu.ru*

²*Томский политехнический университет, отделение материаловедения,
e-mail: stanco@tpu.ru*

Введение

Наночастицы TiO₂ нашли применение в самых разных областях науки и техники [1]. При этом в процессе их синтеза и применения есть необходимость быстрого и точного определения размеров частиц.

Метод динамического рассеяния света позволяет проводить дисперсионный анализ и основан на анализе изменения интенсивности формируемого при рассеивании лазерного излучения на частицах в дисперсионной среде, которой обычно выступает жидкость [2]. И хотя метод незаменим в фармацевтике, научных исследованиях, мониторинге качества воздуха и производстве материалов, есть аналитические сложности в его исполнении. На поведение частиц в дисперсионной среде влияют как свойства самих частиц (размер, концентрация, состав поверхности, форма, заряд) [3] так и свойства дисперсионной среды (рН, наличие солей и органических добавок) [4]. При этом литературных данных недостаточно для выбора методики анализа для конкретных наночастиц. Целью нашего исследования являлось определение влияния условий пробоподготовки на распределение частиц по размерам, получаемое с помощью метода динамического рассеяния света.

Методы и материалы

Для работы использовали наночастицы TiO₂ с размером 18±19 нм (анатаз, NanoAmor Ltd., США). В работе готовили суспензии с концентрацией частиц 100 мг/л на основе 10 мМ раствора NaCl с рН = 7 (весы GR-202, ООО А&D RUS, Россия, точность 0,0001 г, дистиллятор GFL 2004, ThermoFisher, США) в пластиковых баночках (50 мл). Суспензии подвергались перемешиванию: 1) с помощью ультразвуковой обработки (УЗ) в УЗ ванне Laborette-17 (Fritsch, Франция, объем жидкости 4 л, мощность 240 Вт) и 2) с помощью механического перемешивания стеклянными шариками (25 штук, диаметр 5 мм) при встряхивании в орбитальном шейкере GFL 3005 (GFL, Германия, 400 об/мин) в течение 15, 30, 45 и 60 мин. После обработки из суспензии брали аликвоту из верхней части объема для анализа.

Для измерения размеров частиц и дзета-потенциала использовали лазерный анализатор Zetasizer Nano ZS (Malvern, США, лазер волны 633 нм). Анализ проводили в U-образной кювете из полистирола при 25 °С три раза. Для наночастиц анатаза индекс отражения вносился равным 2,35.

Результаты

Показано, что независимо от времени и способа перемешивания распределение наночастиц по размерам в суспензиях имело мономодальный характер, но количественные характеристики распределения зависели от времени обработки. Например, после УЗ обработки в течение 15–30 минут модальный размер не изменялся (955 нм), а при более длительной обработке (45–60 минут) диаметр увеличился до 1484 нм (рис. 1а). При перемешивании на шейкере с увеличением времени обработки от 15 до 30 минут суспензии подвергались агрегации, распределение сдвинулось вправо: модальный размер увеличился от 712 до 1718 нм (рис. 1, б). Далее видно, что механическое перемешивание дольше 30 минут практически не влияло на получаемый результат: при времени 30...45...60 минут модальный размер составил 1718...1281...1484 нм (рис. 1, б).

В отношении заряда поверхности, видно, что суспензии очень нестабильны: дзета-потенциал не превышал 6 мВ. При этом независимо от способа обработки с увеличением времени перемешивания от 45 до 60 минут происходила перезарядка поверхности от 0±2 мВ до –6 мВ (рис. 2).

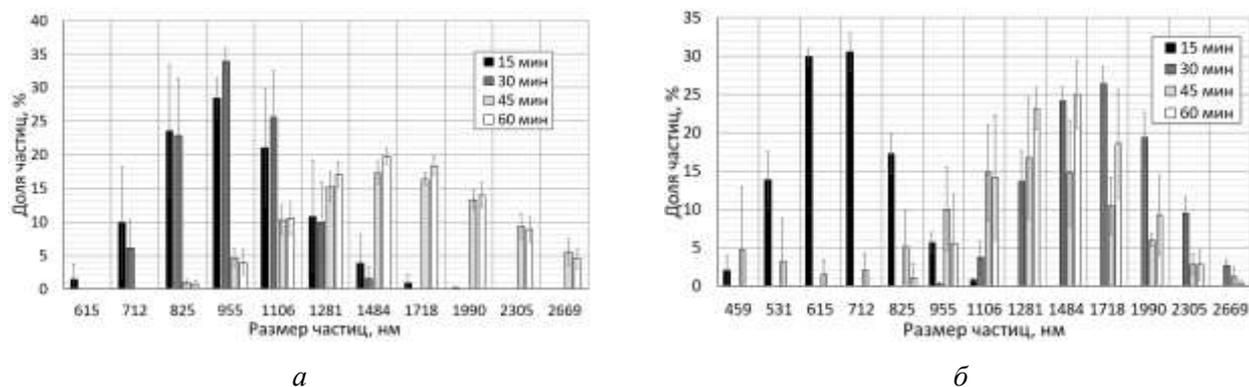


Рис. 1. Влияние времени перемешивания с помощью УЗ обработки (а) и стеклянных шариков на шейкере (б) на распределение частиц по размерам. Ошибка из трехкратного измерения

Усредненные данные показали, что при достижении определенного времени обработки происходит агрегация частиц в суспензиях. Например, после 45-минутного ультразвукового перемешивания средний размер агрегатов увеличился от 990 до 1808 нм (рис. 2, а), а после 30 минут механического перемешивания – размер увеличился от 689 до 1716 нм (рис. 2, б).

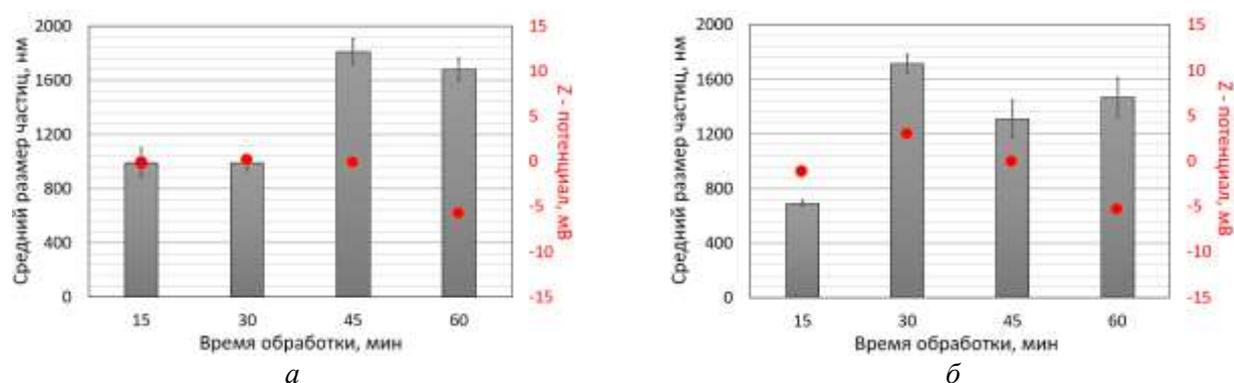


Рис. 2. Влияние времени УЗ (а) и стеклянных шариков на шейкере (б) на средний размер и дзета-потенциал. Ошибка из трехкратного измерения

Заключение

На основании результатов эксперимента можно сделать следующий вывод, что время и способ перемешивания суспензий наночастиц может сильно повлиять на результаты дисперсионного анализа при реализации методики, реализуемой с помощью метода динамического рассеяния света. При выбранных условиях видно, что предварительного перемешивания суспензий наночастиц TiO_2 в течение 15 минут достаточно для механического способа, и 30 минут – для УЗ обработки, потому что более длительная обработка приводит к агрегации частиц.

Список литературы

1. Haider A.J., Jameel Z.N., Al-Hussaini I.H.M. Review on: titanium dioxide applications // Energy Procedia. – 2019. – Vol. 157. – P. 17–29.
2. Stetefeld J., McKenna S.A., Patel T.R. Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences // Biophysical reviews. – 2016. – Vol. 8(4). – P. 409–427.
3. Liu X., Chen G., Su C. Effects of material properties on sedimentation and aggregation of titanium dioxide nanoparticles of anatase and rutile in the aqueous phase // Journal of colloid and interface science. – 2011. – Vol. 363(1). – P. 84–91.
4. Thio B. J. R., Zhou D., Keller A. A. Influence of natural organic matter on the aggregation and deposition of titanium dioxide nanoparticles // Journal of hazardous materials. – 2011. – Vol. 189(1–2). – P. 556–563.

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВА FeAlCoNiCrC

Дмитриенко А.Н.¹, маг., Юаньсюнь Лю, асп., Ковалевская Ж.Г., д.т.н., проф.

*Томский политехнический университет,
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30*

¹e-mail: and11@gmail.com

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) в последнее десятилетие привлекли широкое внимание специалистов в связи с демонстрацией их необычных свойств, проявляемых из-за сложного конфигурационного состояния [1, 2]. В отличие от традиционно создаваемых сплавов, путем легирования одного компонента малыми долями других, в ВЭС основой служат сразу несколько элементов, взятых в количестве не менее пяти с эквивалентной концентрацией каждого [3].

Интерес исследователей привлекает высокоэнтропийный сплав FeAlCoNiCr. В литом состоянии он имеет структуру на основе ГЦК кристаллической решетки. Легирование углеродом может улучшить комплект механических свойств сплава [4].

В данной работе проведены исследования строения образцов из ВЭС FeAlCoNiCrC, полученные методом плавлением при помощи ТВЧ. Цель данной работы заключалась в исследовании строения полученного сплава FeAlCoNiCrC.

В качестве исходных материалов использовали металлические порошки Co, Cr, Fe, Ni, Al чистотой более 99,5 мас. % и размером частиц менее 55 мкм. Элементарные порошки смешивались в эквивалентном составе – Fe (22,1 мас. %), Al (10,7 мас. %), Co (23,3 мас. %), Ni (23,2 мас. %), Cr (20,6 мас. %). Последующая механоактивация проводилась в планетарной шаровой мельнице в течение 1 часа при 240 об/мин в атмосфере воздуха. В качестве мелющей среды использовались шарики из высококачественной нержавеющей стали с массовым соотношением шариков к порошку 3:1. Применялся агент, контролирующий обработку, чтобы избежать холодной сварки, а также предотвратить окисление сплава. В качестве агента использовался раствор стиариновой кислоты в этиловом спирте [5]. Смесь после механического сплавления подвергалась дополнительному отжигу в вакуумной печи при температуре 600 °С.

При плавлении на ТВЧ был использован графитовый тигель и катушка диаметром 40 мм, плавление происходило при 70 А в течении 5 мин в атмосфере воздуха. Сплавленные образцы повторяли форму круглого в сечении тигля диаметром 13 мм и высотой 10 мм.

Далее были сделаны шлифы залитые в эпоксидную смолу. Для полировки поверхности используются различные виды наждачной и полировочной бумаги. Образец, полученный ТВЧ плавкой, травился при помощи царской водкой. Фотографии микроструктуры были выполнены на микроскопе CarlZeiss AxioObserver. Распределение компонентов в сплаве проводилось по результатам растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе Quanta 200-3D.

После оплавления ТВЧ в графитном тигле сформировалась материал с литой структурой (рис. 1). В структуре присутствует пористость около 5 %. Она формируется либо в процессе усадки жидкого материала, либо сохраняется от исходного порошкового материала с низкой насыпной плотностью.

После травления в микроструктуре образца наблюдается три структурных составляющих: основа, частицы иглообразной формы и частицы с полиэдрическим строением. Предположительно основа представляет из себя твердый раствор компонентов сплава, игольчатые включения являются интерметаллидом компонентов сплава, а частицы с полиэдрическим строением – карбиды карбидообразующих элементов сплава, образованные при взаимодействии расплава с тиглем.

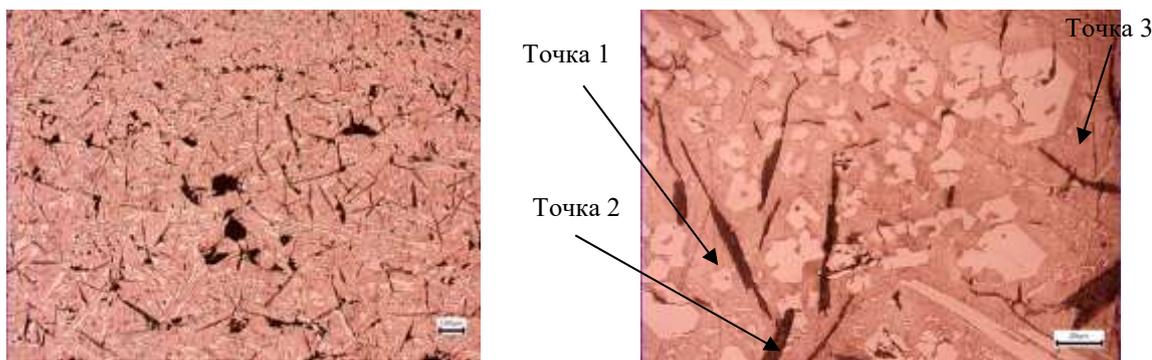


Рис. 1. Микроструктура ВЭС Fe-Al-Co-Ni-Cr-C консолидированного ТВЧ

Результаты РЭМ показали следующий химический состав в весовом %:

Точка 1 на рис. 1 имеет следующий химический состав: Al (7,5 %) Cr (4,5 %) Fe (18 %) Co (32 %) Ni (37,5 %).

Точка 2 рис. 1 частицы иглообразной формы имеют химический состав: Al (57 %) Cr (26 %) Fe (6 %) Co (6 %) Ni (3 %).

Точка 3 рис. 1 частицы с полиэдрическим строением имеют химический состав: Cr (65 %) Fe (15 %) Co (15 %), Ni (4 %).

Таким образом, в ходе исследования структуры высокоэнтروпийного сплава Fe-Al-Co-Ni-Cr-C при ТВЧ плавлении сплава в графитовом тигле, образуется материал с трехфазной структурой.

Список литературы

1. Батаева З.Б. и др. Обзор исследований сплавов, разработанных на основе энтропийного подхода // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 116–146.
2. Громов В.Е. и др. Применение высокоэнтропийных сплавов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2021. – Т. 64, № 10. – С. 747–754.
3. Осинцев К.А. и др. Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией // *Ползуновский вестник.* – 2021. – № 1. – С. 141–146.
4. Астафурова Е.Г. и др. Температурная зависимость деформационного поведения высокоэнтропийных сплавов Co₂₀Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀, Co₁₉Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀C₁ и Co₁₇Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀C₃. Механические свойства и температурная зависимость предела текучести // *Физическая мезомеханика.* – 2023. – Т. 26, № 6. – С. 5–16.
5. Кузьмич Ю.В. и др. Механическое легирование как метод получения конструкционных материалов на основе алюминия // *Перспективные материалы.* – 2003. – № 6. – С. 69–75.

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Васильева Ю.З.¹, Некля Ю.А.²

¹НИ ТПУ, научный сотрудник ЛПМЭО, ИШЭ,

e-mail: yzv1@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИЯТШ, студент 0А15,

e-mail: yan26@tpu.ru

Во многих отраслях промышленности возрос спрос на материалы, свойства которых позволяют их использовать в физически и химически агрессивных средах. Одним из кандидатов на роль сверхтвёрдого материала является борид молибдена [1]. Этот материал обладает уникальными физическими и химическими свойствами. Соединение системы «молибден-бор» имеет высокую температуру плавления, повышенную твердость и термическую устойчивость. Борид молибдена может быть использован в качестве материала для создания конструктивных приложений, требующих стабильной работы в условиях высоких температур [2]. Отмечается, что керамика на основе боридов молибдена, обладает высоким пределом прочности [3].

Методы получения боридов молибдена весьма разнообразны, одними из популярных считаются высокотемпературный и механохимический синтез. Одним из перспективных направлений синтеза данных структурных соединений является безвакуумный электродуговой метод. Ранее проводился синтез боридов молибдена дуговым разрядом в условиях воздушной среды [4].

Согласно литературе, для получения объемных керамических образцов боридов молибдена используют термобарический метод [5] или нагрев в печи в атмосфере водорода [6]. Стоит отметить, что в литературе отсутствуют сведения о получении объемных керамических образцов боридов молибдена искровым плазменным спеканием. В данной работе представлены экспериментальные исследования по получению объемных керамических образцов, на основе боридов молибдена, полученных электродуговым методом в воздушной среде.

Целью исследования является получение объемных керамических образцов, на основе боридов молибдена, искровым плазменным спеканием и исследование фазового состава полученных образцов методом рентгеновской дифрактометрии. Также необходимо провести оценку твердости по Виккерсу спеченных керамических образцов.

Для спекания синтезированного порошка боридов молибдена проводили искровое плазменное спекание с использованием установки GT Advances Technologies SPS. Перед началом работы порошок боридов молибдена, полученный при атомном соотношении $\text{Mo/B} = 1/2$, помещали в графитовую форму с внутренним диаметром 12,7 мм. Затем форму помещали между двумя графитовыми пуансонами и производили спекание до температуры 1650 °С в вакуумной среде в течении 10 мин. Скорость нагрева составляла 100 °С/мин при давлении до 50 МПа.

Для исследования фазового состава полученного образца проводили рентгеновскую дифрактометрию на приборе Shimadzu XRD-7000s. На рис. 1 представлена картина рентгеновской дифракции образца, содержащего фазы боридов молибдена, до и после искрового плазменного спекания. Согласно данным рентгеновской дифрактометрии в образце до спекания идентифицируется наличие фаз боридов молибдена таких, как: α -MoB (1,89 %), β -MoB (7,07 %) и MoB_2 (91,04 %). После спекания в объемном керамическом образце фазовый состав сохраняется, однако увеличивается доля фаз α -MoB (4,17 %) и β -MoB (13,03 %). Данное явление можно объяснить воздействием высокой температуры на исходный порошок, в результате чего происходит фазовое превращение MoB_2 в фазы MoB.

Для керамического образца, содержащего фазы боридов молибдена, проводили измерения твердости по Виккерсу. Для оценки твердости по Виккерсу использовали твердомер с

индентором Берковича при нагрузке 100 мН. Для образца проводили не менее 10 измерений, после которых рассчитывалось среднеарифметическое значение твердости.

Согласно расчетным данным, значение твердости для керамического образца борида молибдена составляет $29,90 \pm 2,65$ ГПа.

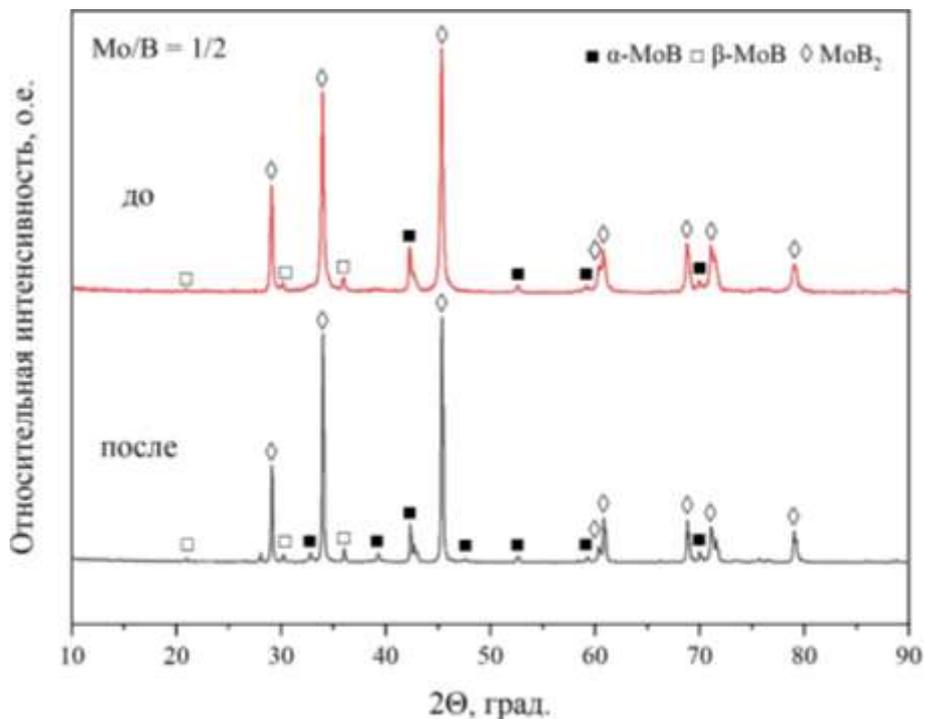


Рис. 1. Картина рентгеновской дифракции образца до и после спекания

Таким образом, в работе представлены экспериментальные исследования по получению объемных керамических образцов, содержащих фазы борида молибдена. Методом рентгеновской дифрактометрии определен фазовый состав до и после процесса спекания. Проведена оценка твердости по Виккерсу для объемного керамического образца борида молибдена, полученного при атомном соотношении $\text{Mo/B} = 1/2$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01145, <https://rscf.ru/project/23-79-01145/>.

Список литературы

1. Camurlu H.E. Preparation of singlephase molybdenum boride // Journal of alloys and compounds. – 2011. – Vol. 509, № 17. – P. 5431–5436.
2. Shein I.R., Shein K.I., Ivanovskii A.L. First-principles study on the structural, cohesive and electronic properties of rhombohedral Mo_2B_5 as compared with hexagonal MoB_2 // Physica B: Condensed Matter. – 2007. – Vol. 387, № 1–2. – P. 184–189.
3. Kudaka K., Iizumi K., Sasaki T., Okada S. Mechanochemical synthesis of MoB_2 and Mo_2B_5 // Journal of alloys and compounds. – 2001. – Vol. 315, № 1–2. – P. 104–107.
4. Васильева Ю.З., Пак А.Я., Сперанский М.Ю., Лавренчук А., Некля Ю.А. Синтез микроразмерных порошков боридов молибдена под действием атмосферного дугового разряда переменного тока // Письма в журнал технической физики. – 2024. – Т. 50, № 12. – С. 16–19.
5. Tao Q., Zhao X., Chen Y., Li J., Li Q., Ma Y., Wang X. Enhanced Vickers hardness by quasi-3D boron network in MoB_2 // RSC advances. – 2013. – Vol. 3, № 40. – P. 18317–18322.
6. Steinitz R., Binder I., Moskowitcz D. System molybdenum-boron and some properties of the molybdenum-borides // JOM. – 1952. – Vol. 4, № 9. – P. 983–987.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ФИНИШКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Александрова Е.П.¹, студентка гр. ТОА-21

Наплавкова К.С.², студентка гр. ТОА-21

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия,*

e-mail: ¹s210463@stud.spmi.ru , ²s210460@stud.spmi.ru

Введение

Износостойкость, коррозионная стойкость и прочность – важнейшие из свойств деталей, предназначенных для больших нагрузок. Существует множество способов, позволяющих добиться изменения того или иного параметра. В машиностроении применяются такие методы, как азотирование, цементация, шлифование, магнитно-абразивная обработка и прочие. Целью данного исследования является выявление преимуществ магнитно-абразивной обработки перед химико-термическими методами повышения износостойкости деталей.

Каждый из методов воздействует на материал и поверхность детали по-разному. Шлифование, дробеструйная и магнитно-абразивная обработка относятся к абразивным обработкам и механически воздействуют на поверхность детали. Цементация и азотирование в свою очередь являются процессами химико-термическими, так как в процессе используются особые химические вещества. Для выявления преимуществ магнитно-абразивной обработки рассмотрим её механизм, а также процессы азотирования и цементации.

Определения азотирования и цементации

Азотирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя азотом при нагревании в соответствующей среде, которое чаще всего проводится при температуре от 400 °С до 600 °С. [1] Цементация также является процессом диффузионного насыщения поверхности, но углеродом, и проводится при температуре от 900 °С до 950 °С. Исходя из определения можно выделить общую особенность этих двух видов обработок – особый температурный режим. Механические методы повышения прочности, износостойкости и коррозионной стойкости не требуют особого температурного режима и могут осуществляться в нормальных условиях.

Описание процессов азотирования и цементации

Технологический процесс азотирования включает в себя большое количество стадий. В описании конкретной технологии указано, что деталь должна пройти следующие этапы: предварительная термическая обработка; механическая обработка, включая шлифование; защита мест, не подлежащих азотированию; азотирование; окончательное шлифование или доводка изделия в соответствии с заданными допусками. [1] Такое количество операций делает процесс химико-термической обработки очень долгим – он может длиться до двух дней. Процесс цементации также требует достаточных временных затрат: чтобы достигнуть достаточной глубины насыщения, требуется более суток (среднее время насыщения на 1 мм – 10 часов). В этом времени не учитывается обслуживание оборудования и сопровождающие действия. [2] В сравнение приведем время механической обработки: дробеструйная обработка в среднем занимает от 30 секунд до 30 минут в зависимости от размера детали, не учитывая время обслуживания оборудования. Магнитно-абразивная обработка дает результаты при абразивном воздействии даже в 6 минут. Кроме того, цементировать можно далеко не все стали, а только с низким содержанием углерода, а азотирование теряет свою эффективность при уменьшении количества легирующих элементов. Магнитно-абразивной обработке может подвергаться любые стали и металлы, температура плавления которых больше 50–60°С (обычно такая температура устанавливается в месте обработки), в том числе с помощью неё можно обрабатывать керамические поверхности.

Описание метода магнитно-абразивной обработки

Суть метода магнитно-абразивной обработки заключается в использовании специального абразивного порошка. С помощью порошка из карбида титана и железа подвергается обработке нержавеющая сталь. Алюминий может быть обработан порошком из быстроре-

жущей стали. Главное, чтобы твердость абразивного порошка превышала твердость обрабатываемого материала в 5–6 раз. Заготовка устанавливается между двумя полюсными наконечниками, которые образуют магнитное поле. Под его действием абразивный порошок начинает уплотняться и принимать форму обрабатываемой поверхности. За счет вращения детали порошок оказывает абразивное воздействие на поверхность. На рис. 1 и 2 показан процесс магнитно-абразивного полирования на примере резьбовой поверхности.



Рис. 1

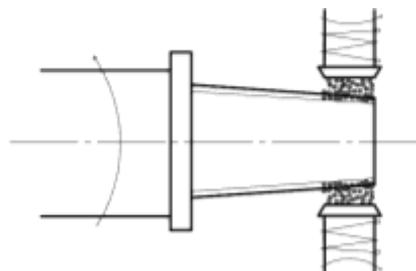


Рис. 2

Магнитно-абразивная обработка зависит от нескольких факторов: магнитной индукции, абразивного порошка, расположения полюсных наконечников, их наклона и прочих. Несмотря на то, что абразивный порошок принимает форму поверхности, иногда не удается улучшить её показатели в труднодоступных местах. В одном из своих исследований Максаров В.В. пишет: «В результате анализа данных моделирования МАП образца с наружной резьбовой поверхностью принято решение для изучения образца с внутренней резьбовой поверхностью использовать только прямые и наклонные плоские полюсные наконечники. Ввиду того, что внутри обрабатываемого образца отсутствует постоянное и однородное магнитное поле и выполнить магнитно-абразивную обработку внутренней резьбы невозможно, принято решение во внутреннем пространстве образца установить конусный наконечник со смещением относительно собственной оси и оси заготовки» [3]. Из данного тезиса можно сформулировать вывод о том, что, применяя разные комбинации расположения наконечников, их формы, угла наклона, можно достигнуть значительных изменений характеристик поверхностей, что делает область магнитно-абразивной обработки достаточно гибкой. Она имеет широкое поле для возможностей её изучения.

Заключение

Подводя итог, можно говорить о том, что магнитно-абразивная обработка имеет ряд преимуществ перед химико-термическими методами: отсутствие специальных условий, скорость обработки, возможность обрабатывать почти любой материал. Эти выводы подкрепляют рассмотренные процессы азотирования, цементации и магнитно-абразивной обработки.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г.И., Бёмер З. Теория и технология азотирования. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
2. Красюк Б.А. Закалка и цементация стали. – М.: Металлургиздат, 1945. – 122 с.
3. Максаров В.В., Каренина Р.А., Синюков М.С. Совершенствование технологии финишной абразивной обработки в магнитном поле резьбовой поверхности замкового соединения из конструкционной легированной стали для буровых штанг // Черные металлы, 2024. – № 9 (1113). – С. 65–9.
4. Акулович Л.М., Сергеев Л.Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.
5. Максаров В.В., Кексин А.И. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования // Металлообработка, 2017. – № 1 (97). – С. 47–57.

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА AA2055

Юзбекова Д.Ю.¹, Зуйко И.С.²

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, м.н.с.,
e-mail: yuzbekova@bsu.edu.ru

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет, с.н.с.,
e-mail: zuiko_ivan@bsu.edu.ru

Термически упрочняемые сплавы системы Al-Cu-Li третьего поколения характеризуются превосходным комплексом свойств, что делает их перспективными материалами для авиационной и космической промышленности. Выбор оптимальной температуры для проведения обработки на твердый раствор (закалки) является важной задачей, поскольку для достижения максимального упрочняющего эффекта во время старения необходимо добиться максимально полного растворения фаз, исключив при этом риск плавления неравновесных эвтектических структур (пережога) при нагреве под закалку.

В настоящем исследовании рассматривается влияние температуры закалки на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава AA2055 системы Al-Cu-Li. Отливка сплава AA2055 производилась на базе НИУ «БелГУ» методом полунепрерывного литья. Типичный химический состав сплава согласно регламенту разработчика Alcoa следующий: Al- 3,7Cu-1,15Li-0,5Zn-0,45Ag-0,4Mg-0,3Mn-0,1Zr, вес.%. Литой слиток был подвергнут двухступенчатому гомогенизационному отжигу. Далее, сплав подвергли горячей осадке и прокатке при температуре 460 °С до суммарной истинной степени деформации ~1,0. Закалка проводилась при температурах 500 °С, 510 °С, 520 °С, 530 °С и 540 °С с выдержкой при указанных температурах в течении 2 часов и последующей закалкой в холодную воду.

Результаты механических испытаний на растяжение сведены в табл. 1. Анализ результатов механических испытаний на растяжение показывает, что при постоянном времени выдержки рост температуры закалки приводит к снижению прочностных свойств. Так, образцы, закаленные с температур 500 °С и 510 °С, показали наибольшие значения предела прочности и предела текучести. Обработка при температурах 520 °С и 530 °С привела к снижению предела текучести и предела прочности на 5–7 МПа и 9–15 МПа, соответственно. А рост температуры закалки до 540 °С приводит к резкому падению прочностных свойств при сравнительном небольшом увеличении пластичности.

Таблица 1

Механические свойства сплава AA2055 после закалки с различных температур

Температура закалки [°С]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности [МПа]	Удлинение [%]
500	138±4,5	317±3,9	27±5,2
510	138±6,0	319±10,8	28±1,0
520	131±5,0	304±9,5	27±2,3
530	133±1,8	308±4,2	27±1,5
540	122±5,1	287±12,6	29±1,4

Довольно очевидно, что главную роль в изменении вышеуказанных механических свойств играет изменение микроструктуры. Методом рентгенофазового анализа был идентифицирован фазовый состав закаленного с различных температур сплава AA2055. Установлено, что после закалки с температуры 500 °С в микроструктуре присутствует остаточная θ -фаза (рис. 1, а). Увеличение температуры закалки приводит к исчезновению пика, соответствующего θ -фазе, что свидетельствует о растворении данной фазы при температурах закалки выше 500 °С.

Согласно микроструктурным исследованиям, проводимым с помощью растровой электронной микроскопии, в сплаве после закалки с температуры 500 °С по границам зерен расположены относительно крупные первичные частицы со средним продольным и поперечным размером ~5,5 и ~2,5 мкм, соответственно (рис. 1, б). Анализ локального химического состава данных частиц (рис. 1, в) позволяет идентифицировать первичные частицы как θ – Al_2Cu (№ 1–4 на рис. 1, б) и τ – $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ (№ 5, 6 на рис. 1, б) фазы.

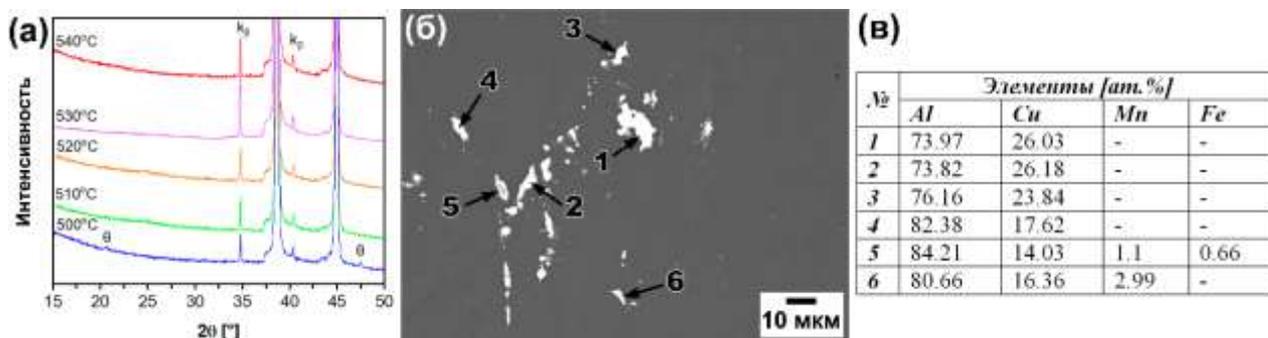


Рис. 1. а – Рентгенограмма сплава AA2055 закаленного с различных температур; б – микрофотография РЭМ сплава после закалки с температуры 500 °С; в – химический состав всех частиц, обозначенных на рис. 1, б

Анализ EBSD карт сплава после закалки с различных температур показал, что образцы, обработанные на твердый раствор с температур 500 °С и 510 °С, имели небольшую долю мелких рекристаллизованных зёрен (1–3 %). Увеличение температуры обработки до 520 °С и 530 °С приводит к увеличению доли рекристаллизованных зерен приблизительно в 2 раза. Нагрев образца до 540 °С способствует резкому увеличению размера и доли рекристаллизованных зерен (до 38 %), что указывает на интенсификацию процесса рекристаллизации.

Металлографические исследования с помощью оптической микроскопии подтверждают данные EBSD анализа, а именно образование и рост новых рекристаллизованных зерен после обработки при температуре 540 °С. Кроме того, установлено, что после закалки с температуры 540 °С вдоль границ зерен и в тройных стыках зёрен образуются поры, которые являются следствием плавления неравновесной эвтектики (рис. 2), что указывает на пережог образца.

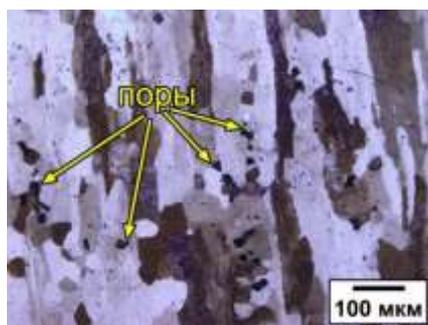


Рис. 2. Микроструктура сплава AA2055 после закалки с температуры 540 °С

Из работы можно сделать следующие выводы: 1) Тенденция к уменьшению прочностных свойств связана с более полным растворением Al_2Cu и Al_2CuLi -фаз, а также явлением рекристаллизации; 2) Резкое снижение прочности после закалки при температуре 540 °С является результатом рекристаллизации и расплавления неравновесной эвтектики (пережога). 3) Оптимальная температура закалки сплава является 510 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, код научной темы FZWG-2023-0005. Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Технологии и Материалы НИУ «БелГУ».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

*Филиппов Д.М., Колесникова К.А.
Томский политехнический университет,
e-mail: kak30@tpu.ru*

Повышение скоростей и мощностей технических агрегатов (двигатели внутреннего сгорания, различные гидроцилиндры и т. д.) требуют повышенных характеристик для различных, в том числе резиновых уплотнений: манжетов, сальников, прокладок и т. п. Большим недостатком используемых резинотехнических изделий (РТИ) является высокий коэффициент трения в паре с металлом, способностью к залипанию, недостаточно высокой износостойкостью в подвижных узлах трения. Повышение износостойкости РТИ достигается введением в состав резиновой смеси антифрикционных добавок, что ведет к снижению пластичности РТИ. Повышение прочности и износостойкости резинотехнических изделий достигается также за счет добавления в «сырую» резину перед вулканизацией различных добавок (которые себя практически исчерпали). Поэтому модифицирование поверхности изделий имеет определенное преимущество, т. к. позволяет улучшить физико-механические свойства готовых изделий, не меняя технологии их изготовления. Большинство методов не дают возможности нанести металлизированное покрытие на резину, по причине высоких рабочих температур установок, вследствие чего резина будет плавиться [1–3].

В качестве эффективного решения проблемы повышения эксплуатационных свойств различных резиновых соединений рассмотрен метод ассистированного покрытия на модернизированных установках ННВ6.6–И1, позволяющих покрывать детали любой конфигурации и назначения металлами и сплавами (Ti, Zr, Cr, Mn, Al, Mo, W, их оксиды, нитриды и карбиды, сплавы и композиции), обладающих различными физико-химическими свойствами. С использованием этого метода появляется возможность заключать резиновые детали в тонкую нанометрическую капсулу из металлов, придавая изделиям новые технологические свойства: повышенную износостойкость, стойкость против химически активных сред, электропроводность и др. Предложенный метод позволяет нанести металлы до критического нагрева резины, и обеспечивает хорошую адгезию. Метод экологичен и не загрязняет окружающую среду. Данный метод позволяет наносить одно- и многослойные покрытия одновременно из нескольких материалов с высокой размерной точностью по толщине.

В связи с выше сказанным, **целью данной работы** было исследование возможности нанесения покрытий на уплотнительные соединения ионно-плазменным методом, а именно:

- подбор защитных материалов для различных условий работы резины;
- определение оптимальной толщины защитного слоя для различных условий работы резины;
- проведение испытания на трение; на износ модернизированной поверхности;
- изучение морфологии поверхности;
- определение температуры возгорания модернизированной резины.

В данной работе исследованы структурные особенности поверхностного слоя резиновых изделий, на которые методом ионно-плазменного напыления, нанесены такие металлы, как Mo+Cr, Ti, и т. д.

Толщина для отдельных видов покрытий варьируется от 20 нм до 420 нм. Скорость нанесения устанавливалась покрытием данного состава при стандартном режиме металлического эталонного образца в течение 60 минут с замером толщины слоя и последующем расчете зависимости толщины покрытия от времени.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

- при использовании ионно-плазменного метода возможно нанесение металлических покрытий на РТИ различного назначения (рис. 1) на промышленных ионно-плазменных

установках типа ННВ, оборудованных ионизаторами, использующими ионизированную плазму металлических катодов в потоке ионов инертного газа;

- металлические покрытия толщиной 80–300 нм наносятся с хорошей адгезией к поверхности резины, не ухудшают ее физико-механические свойства, положительно влияют на служебные характеристики РТИ. Хорошие результаты получены при испытаниях резиновых изделий с покрытиями $\text{BrOF } 6.5-1.5$ и MO+Cr ;

- металлические покрытия в 10 раз и более снижают износ РТИ за счет снижения коэффициента трения, в 2–3 раза при контакте со сталью. При этом тонкие, до 120 нм пленки наносимого антифрикционного металла допускают 100 % деформацию резины за счет несплошности покрытия на поверхности РТИ. При деформации, покрытия имеют островковый характер за счет высокой адгезии с выступающим рельефом. Надежная эксплуатация РТИ с покрытиями достигается при нанесении смазки;

- покрытия неподвижных уплотнительных изделий толщиной до 300 нм могут быть использованы в механических соединениях с агрессивной средой и для препятствия высыхания (окисления) поверхностного слоя РТИ;

- высокая электропроводность металлических покрытий обеспечивает устойчивую гальваническую связь деталей конструкций, загерметизированных через металлизированные РТИ. Появляется возможность создания электрических микросхем на эластичной резиновой основе;

- повышение не только износостойкости, но и снижение контактных давлений в сопрягаемых деталях;

- снижение температуры нагрева в процессе работы за счет уменьшения коэффициента трения и контактных давлений;

- устранение термодеструкции резины (преждевременного разрушения деталей) за счет уменьшения контактной температуры;

- снижение энергоемкости гидропневматических систем за счет уменьшения силы трения;

- снижение габаритов и массы гидропневмосистем за счет упразднения (в ряде случаев) системы охлаждения пар трения.



Рис. 1. Уплотнительные соединения с покрытием $\text{BrOF } 6.5-1.5$

Изучение и разработка данного метода показали большие перспективы в области модернизации резинотехнических изделиях. Увеличение эксплуатационного срока благодаря уменьшению коэффициента трения, повышению износостойкости и снижению рабочих температур пар трения.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение: учеб. пособие / Ю.М. Лахтин. – М.: Машиностроение, 1990. – 257 с.
2. Белозеров Н.В. Технология резины: учеб. пособие / Н.В. Белозеров. – М.: Химия, 1979, – 156 с.
3. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов [и др.]; под общ. ред. Ф.Ф. Комаров., А.Д. Погребняк. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРШКОВОЙ МЕДИ СИСТЕМЫ Cu-Al-C-O

Владимирова Ю.О.¹, Плотников В.В.², Шалунов Е.П.³,

¹Аспирант, гр. А-05.02.13-21,

e-mail: yulivladimirova@mail.ru

²Аспирант, гр. А-05.02.13-21,

e-mail: acc_plotnikov@rambler.ru

³Профессор,

e-mail: shalunov2003@mail.ru

^{1, 2, 3}Чувашский государственный университет, машиностроительный ф-т

Одним из наиболее подходящих медных материалов, предназначенных для изготовления из них деталей триботехнического назначения, работающих в условиях высоких температур, является дисперсно-упрочненный композиционный материал (ДУКМ) на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O [1]. В исходном составе он содержит 3,0 масс. % порошкового алюминия и 0,45 масс. % углерода в виде графита.

Указанный материал получают методом реакционного механического легирования (РМЛ) меди алюминием в присутствии кислорода воздуха и графита и последующей термодеформационной обработки полученных в атриторе гранул материала с использованием их горячей экструзии [2]. В конечном составе материала в медной матрице в виде α -твердого раствора Al в Cu содержатся равномерно распределенные в ней механохимически синтезированные при РМЛ частицы γ -Al₂O₃ со средним размером 35 нм, являющиеся эффективными упрочнителями материала, а также остаточный углерод.

Согласно полученным данным [1], материал имеет чрезвычайно высокую температуру рекристаллизации (1000 °С), обладает высокими прочностными свойствами (предел прочности при растяжении – более 750 МПа) и хорошей износостойкостью, в связи с чем он мог бы иметь применение в таких тяжело нагруженных деталях узлов трения, как пресс-поршни машин литья под давлением, направляющие втулки клапанов форсированных дизельных двигателей и др. [3].

Однако, этому препятствует, прежде всего, недостаточно высокая пластичность материала, обусловленная наличием в нем остаточных алюминия и углерода, из-за чего из него сложно получить объемным деформированием указанные детали или их заготовки и приходится их изготавливать методами механообработки с низким коэффициентом использования металла.

В настоящем исследовании авторы предприняли попытку повысить пластичность материала, являющуюся основным показателем его технологичности, за счет:

- 1) дополнительного ввода окиси меди в исходную порошковую композицию;
- 2) варьированием степенью деформации (коэффициентом вытяжки) при горячей экструзии материала.

Окись меди CuO является дополнительным источником кислорода и может способствовать полному окислению остаточного алюминия в материале и, следовательно, образованию большего количества частиц γ -Al₂O₃ наноразмерного уровня, а также снижению количества остаточного углерода в материале.

В результате проведенных исследований и испытаний приготовленных образцов материала с разным содержанием в нем добавки CuO были получены основные физико-механические свойства исследуемых материалов, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физико-механические свойства исследуемых материалов с различным содержанием добавки окиси меди в исходном порошковом составе

Исходное содержание в порошковой смеси, масс. %			Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Твердость НВ
Al	C	CuO				
3,0	0,45	0	752	4,3	1460	203
3,0	0,45	2,0	810	4,6	1530	205
3,0	0,45	3,0	817	5,1	1580	207
3,0	0,45	4,0	861	3,4	1585	207

Из данных табл. 1 следует видно, что с увеличением содержания добавки окиси меди в исходном порошковом составе неизменно растет прочность материала. При этом растет так же относительное удлинение, достигая значения 5,1 %, однако, после 3,0 масс. % добавки CuO пластичность материала падает.

Алюминий, обладая большим, чем медь, сродством к кислороду, восстанавливает медь из ее оксидов с одновременным образованием собственного оксида. Таким образом, введение добавки окиси меди способствовало увеличению объема механосинтезированных частиц γ -Al₂O₃, которые имеют размеры намного меньше размеров частиц оксидов меди. А повышение объема упрочняющих частиц в совокупности с уменьшением их размеров неизменно приводит к росту прочности материала. В нашем случае прирост предела прочности при растяжении материала с добавкой 3,0 масс. % окиси меди составил 10 %. Однако, рост объема γ -Al₂O₃ в материале может не только повышать прочность материала, но и при определенной концентрации оказывать негативное влияние на пластичность [2, 4]. В общем случае уменьшение размеров фаз в скоплениях на границе гранул, которые в результате горячей экструзии превратились в дискретные волокна с ориентацией в направлении экструзии, благоприятно сказывается на пластических свойствах материала, поскольку обеспечивается лучшая несущая способность этих границ, позволяющая материалу воспринимать нагрузку самими дискретными волокнами и деформироваться без разрушения при больших значениях нагрузки. Однако, такой механизм деформирования материала действует до тех пор, пока не исчерпана прочность волокон и нагрузка начинает восприниматься преимущественно границами волокон, обладающими меньшей, чем у волокон пластичностью. Эта ситуация, в частности, развивается в материале с 4,0 масс. % добавки CuO.

Для определения возможности повысить пластичность исследуемого материала за счет применения при горячей экструзии повышенных степеней деформации, которые характеризуются через коэффициент вытяжки, были проведены циклы горячего прессования гранульных брикетов из этого материала при одинаковых режимах их нагрева, нагрева контейнера пресс-оснастки, смазки и скорости прессования.

Коэффициент вытяжки μ определялся как отношение квадрата диаметра холоднопрессованного гранульного брикета к квадрату диаметра горячехотроудированного прутка.

В табл. 2 приведены основные физико-механические свойства исследуемых материалов, полученных с различным коэффициентом вытяжки при горячей экструзии.

Таблица 2

Основные физико-механические свойства исследуемых материалов с различным коэффициентом вытяжки при горячей экструзии

Коэффициент вытяжки	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость НВ
2,67	330	2,9	180
6,10	465	4,4	205
10,43	583	5,6	195
14,52	752	5,8	207
20,77	750	5,2	217

Из табл. 2 следует, что с увеличением коэффициента вытяжки неизменно повышаются все прочностные характеристики материала, и при $\mu = 20,77$ достигается максимальный предел прочности при растяжении, равный 750 МПа, что почти на 30 % выше предела прочности при растяжении этого же материала, но прутки которого были получены при горячей экструзии с коэффициентом вытяжки, равным 10,43. При этом относительное удлинение практически не стало меньше и составляет 5,6 %.

Такое улучшение механических свойств обусловлено, прежде всего, лучшей проработкой структуры материала при экструзии с более высоким коэффициентом вытяжки, выражающейся в обеспечении более прочных межволоконных связей в материале по мере возрастания сдвиговых деформаций между соседними волокнами [3].

Таким образом, приведенные выше способы повышения прочностных и пластических свойств материала на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O с 3,0 масс. % алюминия и 0,45 масс. % углерода позволят расширить технологические возможности этого материала при изготовлении из него таких тяжело нагруженных деталей узлов трения, как пресс-поршни машин литья под давлением, направляющие втулки клапанов форсированных дизельных двигателей и др.

Список литературы

1. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П. Дисперсно-упрочненный нанокomпозиционный материал для деталей двигателей внутреннего сгорания, работающих при повышенных нагрузках и температурах // Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование (ICMSSTE 2024): Материалы междунар. научн. – практ. конф. (Ялта, 28–31 мая 2024 г.) – Симферополь: Крым. федеральный ун-т им. В.И. Вернадского, 2024. – С. 117–121.
2. Колесников М.С., Мухаметзянова Г.Ф. Детали пресс-узлов горячекамерных машин литья под давлением Zn-сплавов из ЧШГ // Литейное производство. – 2014. – № 08. – С. 21–22.
3. Dovydenkov V.A., Shalunov E.P. Experience of production and use of precipitation strengthened copper based materials made by mechanical alloying // Powder Metallurgy. – 1998. – Т. 1. – С. 372.
4. Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механизмы формирования структуры, фазового состава и свойств механически легированных медных композиций // Литье и металлургия. – 2011. – № 3 (61). – С. 142–151.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НАПЛАВЛЯЕМОМ МАТЕРИАЛЕ И ПОДЛОЖКЕ

Савлук А.А.¹, Савлук Д.А.², Лысак Г.В.³, Лысак И.А.⁴
Томский политехнический университет
e-mail: aas293@tpu.ru

В статье рассмотрена задача разработки математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме.

Ключевые слова: электронно-лучевая проволочная аддитивная технология, математическое моделирование, титановый сплав, послойная наплавка, компьютерная инженерия.

Введение

На сегодняшний день аддитивные технологии занимают особое место среди научных исследований. Это обусловлено следующими факторами, которые доступны для 3D-печати:

- технологичность: широкий спектр материалов для 3D-печати;
- материалоемкость: практически полное отсутствие механической обработки со съёмом материала в связи с «наращиванием» изделий;
- экономичность: снижение затрат на материалы.

Для изготовления крупногабаритных деталей, как правило, наиболее перспективными являются проволочные методы прямого осаждения материалов, такие как электронно-лучевое аддитивное производство (ЭЛАП) [1].

Электронно-лучевой источник тепла имеет определенные преимущества при обработке материалов из-за его высокой энергоэффективности и возможности использовать собственные высокие скорости сканирования для поддержания высокой температуры окружающей среды в вакууме. Однако образование дефектов препятствует дальнейшему применению ЭЛАП. Нестабильные ванны расплава приводят к появлению некоторых дефектов, связанных со стабильностью обработки, таких как дымление, разбрызгивание, высокое остаточное напряжение и деформация [2].

Описание теоретических исследований

Целью настоящей работы является разработка модели для исследования остаточных напряжений, возникающих при послойном нанесении титанового сплава на подложку с использованием программного комплекса ANSYS.

Математическая модель включает в себя модель источника теплового воздействия и подложку из титанового сплава марки ВТ6 (рис. 1). Наплавляемый материал – проволока Ø0,9 мм из титанового сплава той же марки. В качестве зажима используются медные пластины. Подложка, установленная в зажиме, охлаждается до температуры окружающей среды под вакуумом.

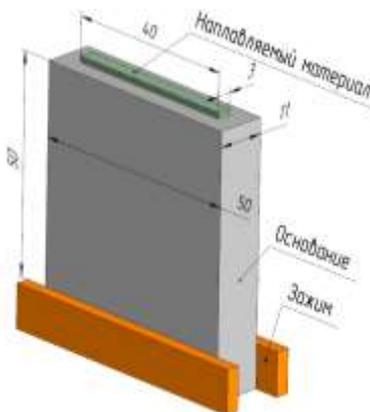


Рис. 1. Схема геометрии образца

Применение граничных условий для каждой поверхности подложки представлено на рис. 2.

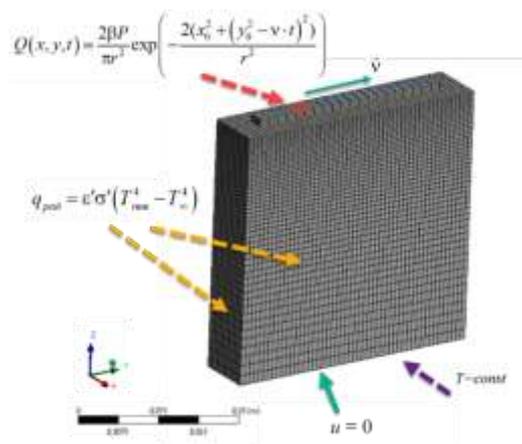


Рис. 2. Схема теплообмена титановой подложки

Результаты и обсуждение

На рис. 3 представлены прогнозируемые эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки.

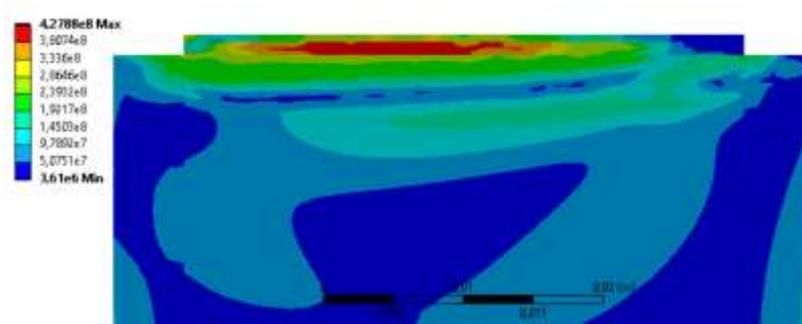


Рис. 3. Эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки

Представленные данные позволяют сделать вывод, что в результате наплавки возникают большие остаточные напряжения в объеме наплавленного образца и титановой подложке, следовательно необходима релаксация образца.

Созданная модель может стать основой для дальнейшей разработки системы, позволяющей воспроизводить рациональную траекторию сканирующего луча с оптимальной частотой и мощностью с целью изготовления деталей из различных материалов с заданными характеристиками.

Список литературы

1. Byron Blakey-Milner. Metal additive manufacturing in aerospace: A review [Текст] / Byron Blakey-Milner, Paul Gradl, Glen Snedden, Michael Brooks, Jean Pitot, Elena Lopez, Martin Leary, Filippo Berto, Anton du Plessis // *Materials & Design*. – 2021. – № 209.
2. Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi Electron beam metal additive manufacturing: Defects formation and in-process control [Текст] / Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – № 101. – P. 386–431.
3. Rouquette S.; Guo J.; Le Masson P. Estimation of the parameters of a Gaussian heat source by the Levenberg–Marquardt method: Application to the electron beam welding // *Int. J. Therm. Sci.* – 2007. – 46. – P. 128–138. [CrossRef].

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ

Савлук Д.А.¹, Савлук А.А.², Лысак Г.В.³, Лысак И.А.⁴
Томский политехнический университет
e-mail: dab47@tpu.ru

В статье рассмотрена задача разработки математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме.

Ключевые слова: электронно-лучевая проволоочная аддитивная технология, математическое моделирование, титановый сплав, послойная наплавка, компьютерная инженерия.

Введение

Аддитивное производство является сложной системой, к характерным особенностям которых относятся многокритериальность оценок процессов, разнородность и многообразие информационных связей между подсистемами и элементами.

Электронно-лучевой источник тепла имеет определенные преимущества при обработке материалов из-за его высокой энергоэффективности и возможности использовать собственные высокие скорости сканирования для поддержания высокой температуры окружающей среды в вакууме. Однако образование дефектов препятствует дальнейшему применению ЭЛАП. Нестабильные ванны расплава приводят к появлению некоторых дефектов, связанных со стабильностью обработки, таких как дымление, разбрызгивание [1].

Описание теоретических исследований

Целью настоящей работы является разработка модели для исследования распределения температур, возникающих при послойном нанесении титанового сплава марки ВТ6 на подложку с использованием программного комплекса ANSYS.

Математическая модель включает в себя модель источника теплового воздействия и подложку из титанового сплава марки ВТ6 (рис. 1). Наплавляемый материал – проволока Ø0,9 мм из титанового сплава той же марки. В качестве зажима используются медные пластины.

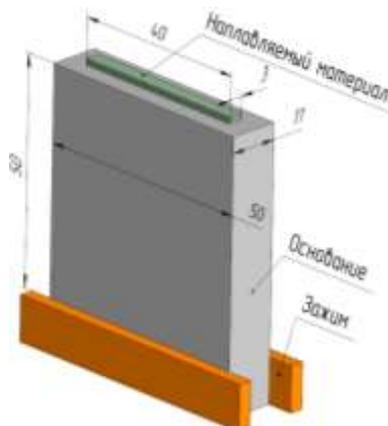


Рис. 1. Схема геометрии образца

В основе решения поставленной задачи лежит численная аппроксимация дифференциального уравнения теплопроводности, которое в общем случае имеет вид:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(\lambda \nabla T) + Q, \quad (1)$$

где $T = T(x, \tau)$ – температура; C – теплоемкость единицы массы; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; $Q = Q(x, \tau)$ – плотность тепловых источников, т. е. количество тепла, выделяющееся в единицу времени в единице объема; τ – время.

Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность могут зависеть от температуры, времени и координат.

Уравнение (1) с определенными начальными и граничными условиями представляет задачу о распределении температуры в каждой точке рассматриваемой области для любого момента времени.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 и 3 представлено прогнозируемое распределение температур во время нанесения первого и последнего слоев соответственно.

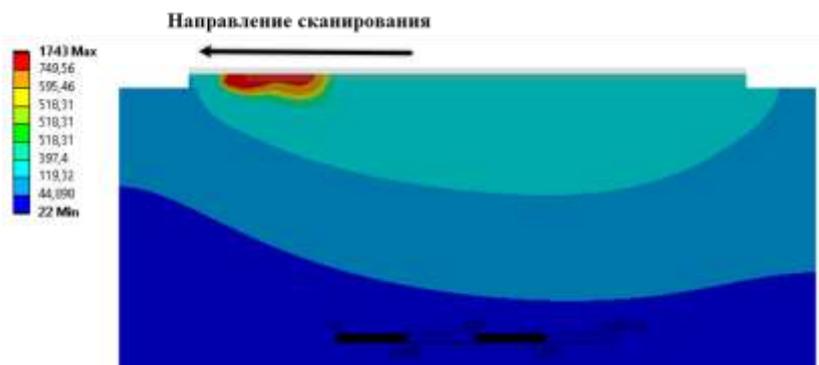


Рис. 2. Распределение температуры в процессе наплавления первого слоя

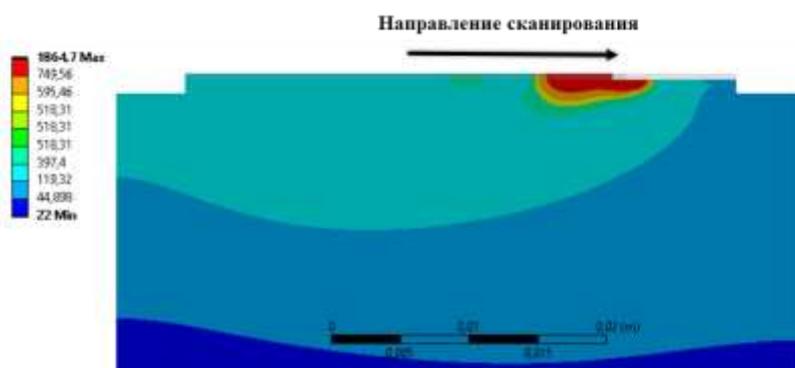


Рис. 3. Распределение температуры в процессе наплавления последнего слоя

На основе проведенного численного исследования установлена локализация максимального температурного пика внутри ванны расплава и температура титановой подложки в процессе наплавки. Установлено, что остаточное тепло первого слоя оказывает существенное влияние на процесс многослойной наплавки.

Список литературы

1. Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi Electron beam metal additive manufacturing: Defects formation and in-process control [Текст] / Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi // Journal of Manufacturing Processes. – 2023. – № 101. – С. 386–431.
2. Rouquette S.; Guo J.; Le Masson P. Estimation of the parameters of a Gaussian heat source by the Levenberg–Marquardt method: Application to the electron beam welding. Int. J. Therm. Sci. 2007, 46, 128–138. [CrossRef].

ЗАЩИТА СТЕКОЛ ИЛЛЮМИНАТОРОВ В КОСМОСЕ

*Шемелева Д.И.
НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4А32,
e-mail: dis38@tpu.ru*

Иллюминаторы в космосе – это одновременно конструктивный элемент оболочки аппарата и оптическое устройство. Они служат для защиты приборов и экипажа, находящихся внутри отсека, от воздействия внешней среды. С другой стороны, обеспечивают возможность работы различной оптической аппаратуры и визуальное наблюдение. В космонавтике иллюминаторы применяются на орбитальных станциях, космических кораблях и в спускаемых аппаратах.

У большинства космонавтов психологическое представление о верхе и низе формируется в зависимости от окружающей обстановки, и в этом тоже могут помочь иллюминаторы. Наконец, иллюминаторы, как и окна на Земле, служат для освещения отсеков при полете над освещенной стороной Земли, Луны или дальних планет.

В космосе обычное стекло может столкнуться с некоторыми проблемами из-за агрессивной среды. В стёкла с огромной скоростью ударяются метеороиды и микрочастицы космического мусора, что разрушает поверхностный слой и образует кратеры, окружённые трещинами длиной до нескольких миллиметров.

Кроме того, при использовании оптических линз в космическом пространстве может возникать свечение внешней линзы, вызванное космическим ионизирующим излучением. Это служит помехой основному оптическому сигналу

Некоторые виды защиты иллюминаторов в космосе:

- Светоделительные покрытия – это покрытие, которые делят падающий световой поток на отражённый и прошедший, но с разным спектральным составом. Их наносят на стёкла иллюминаторов для защиты членов экипажа от вредного воздействия ближнего ультрафиолетового излучения.



Рис. 1. Пластина с светоделительным покрытием

- Автоматические противоударные устройства (заслонки). Они защищают иллюминаторы с внешней стороны от попадания микрометеоритов и космического мусора.



Рис. 2. Заслонка для иллюминатора

- Шторное устройство для регулирования светового потока, проходящего через иллюминатор летательного аппарата или космического корабля, состоит из внутреннего поворотного кольца, закрепленного в наружном неподвижном кольце при помощи профильных подшипников, при этом между наружным неподвижным кольцом и внутренним поворотным кольцом расположены серпообразные сегменты, выполненные с возможностью движения к центральной части внутреннего пространства устройства, центральные части оснований трех сегментов расположены под углом 120° относительно друг друга и образуют перекрытие центральной части шторного устройства, остальные сегменты в центральной части имеют дугообразные вырезы, отличающиеся размером и формой, и образуют перекрытие оставшегося внутреннего пространства между сегментами. Изобретение относится к устройствам регулирования светового потока и микрометеоритной защиты иллюминаторов.

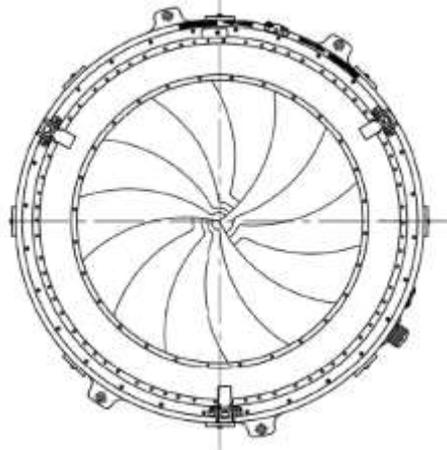


Рис. 3. Шторное устройство в закрытом состоянии
Кольцевой магнит. Его устанавливают соосно иллюминатору, чтобы изменить траекторию малоразмерных космических частиц и предотвратить их попадание на иллюминатор

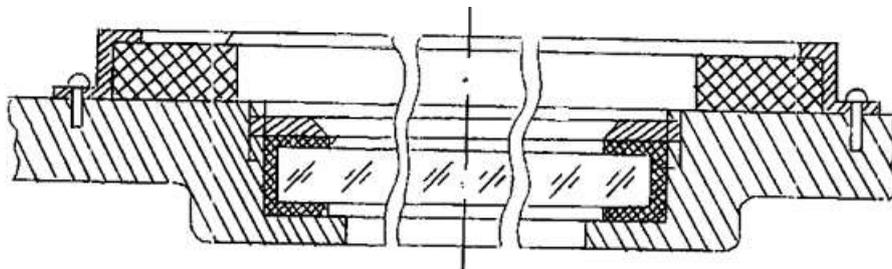


Рис. 4. Кольцевой магнит и иллюминатор

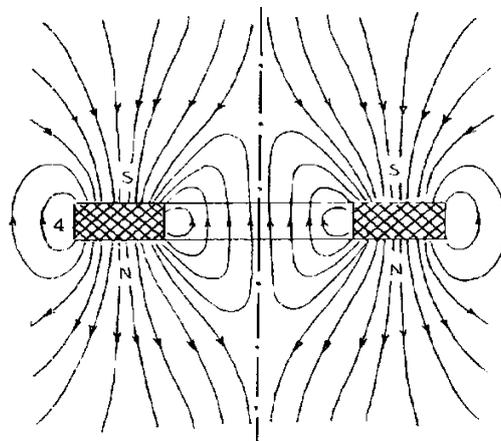


Рис. 5. Действие магнита

- **Нанокompозитные покрытия.** Их наносят на стёкла иллюминаторов для защиты от эрозионного воздействия высокоскоростных микрометеороидов и микрочастиц космического мусора. Для защиты стёкол иллюминаторов в космосе учёные Томского политехнического университета (ТПУ) и Института физики прочности и материаловедения (ИФМП СО РАН) разработали защитное покрытие. Оно представляет собой многослойный наноструктурный металлокерамический материал. Покрытие гасит энергию от удара космических частиц, что предотвращает образование на поверхности стекла кратеров, ухудшающих оптические характеристики. Это позволяет увеличить срок эксплуатации иллюминаторов и сохранить их оптические свойства.

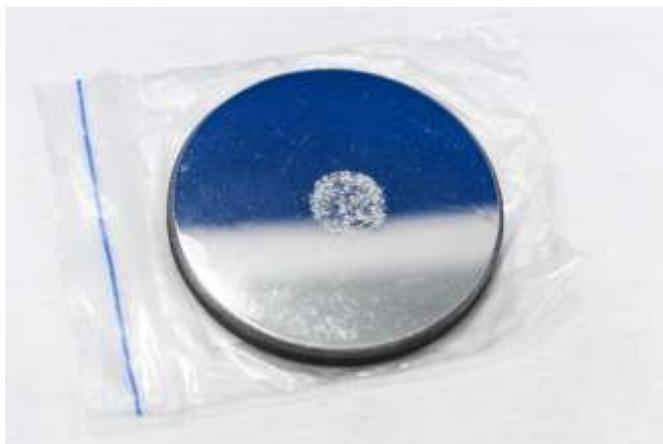


Рис. 6. Нанокompозитное покрытие

Список литературы

1. В Томске разработали защитное покрытие для иллюминаторов космических кораблей // Редкие земли : [сайт]. – 2016. – URL: <https://rareearth.ru/ru/news/20160118/01906.html>.
2. Ассоциация «Национальный Объединенный Совет предприятий стекольной промышленности «СтеклоСоюз»: официальный сайт. – Москва, 2019. – URL: https://steklosouz.ru/news/okna_na_orbite_ili_vsyo_ob_illyuminatorah/.
3. Учёные ИФПМ СО РАН рассказали о разработках новых видов стекла для иллюминаторов МКС // Хабр: [сайт]. – 2024. – URL: <https://habr.com/ru/news/807825/>.

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ ПФА-КОМПОЗИТОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОГО РЕНИЯ

Шэнь Ю.¹, Буслович Д.Г.², Панин С.В.^{1,2}

¹НИ ТПУ, e-mail: shenyy1118@mail.ru

²ИФПМ СО РАН

Введение

Полифталамид (ПФА) – это новый тип термостойкого полуароматического полиамида (ПА), получаемого из терефталевой или изофталевой кислоты [1]. В настоящее время полифталамид наряду со высокоструктурированным полиэфиркетонем (ПЭЭК) и полифениленсульфидом (ПФС) составляют семейство термопластичных полимеров с выдающимися высокотемпературными характеристиками и превосходными механическими свойствами [2]. Высокая гибкость полимерных цепей ПФА, позволяющая вводить в состав композита до 40–50 вес. % волокнистых наполнителей (прежде всего углеродных и стекловолокон), обеспечивает возможность создания материалов с высокими прочностными свойствами, зачастую сопоставимыми с металлами. В силу высокой коррозионной стойкости и удельной прочности коммерческие марки волоконно-армированного ПФА позиционируются производителями для изготовления изделий автомобильной и аэрокосмической промышленности, электроники и пр.

Известно, что добавление углеродных и стеклянных волокон также может значительно повысить сопротивление изнашиванию композитов на основе термопластичных полимеров [3]. Это обусловлено тем, что армирующие волокна обладают высокой прочностью и жесткостью, что позволяет эффективно воспринимать нагрузку и, тем самым, снижать деформирование и износ термопластичной матрицы. Однако фрагменты разрушенных волокон, образующиеся при изнашивании, могут оказывать нерегулярное абразивное воздействие на поверхность трения полимерного композита, в то время как выступающие над этой поверхностью армирующие волокна могут регулярно царапать поверхность контртела [4]. По этой причине высокие механические свойства не всегда соответствуют высоким показателям их трибологических свойств.

Целью данного исследования являлось изучение механических и трибологических свойств композитов из полифталамида, армированных волокнами различной природы, содержания и длины.

Материалы и методики

Для изготовления образцов использовали гранулы ПФА (NHU N100, Bardowick Germany), а также гранулы ПФА, содержащие 30, 40 вес. % УВ, а также с 30 и 50 вес. % СВ (Xiamen Keyuan Plastic Co. Xiamen, China).

Механические характеристики исследовали в соответствии ASTM D638 при испытаниях на растяжение на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки в количестве 4. Твердость определяли на приборе Automatic Operating Stand Model 902 Instron (в соответствии со стандартом ASTM D2240).

Образцы для испытания изготавливались методом литья под давлением. Испытания по определению износостойкости проводились на машине трения 2070 СМТ-1 (ПО «Точприбор», г. Иваново) по схеме «вал-колодка» в соответствии со стандартом ASTM G 77–98. На образец действовала постоянная нагрузка $P = 60–180$ Н, а скорость скольжения задавалась равной $V = 0,3$ м/с. Контртелом в форме вала диаметром 35 мм было изготовлено из стали ШХ15.

Объемный износ оценивали по профилю дорожки трения при помощи профилометра Alpha-Step IQ (KLA-Tencor, США). Топографию поверхностей триботрекков изучали с помощью оптического микроскопа «Neophot 2» (Carl Zeiss, Германия), оборудованного цифровой камерой «Canon EOS 550D» («Canon Inc.», Токио, Япония).

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены сводные данные о механических свойствах ПФА и их композитов. Видно, что ненаполненный ПФА обладает хорошими механическими свойствами, прочность на растяжение и модуль Юнга составляют $97,7 \pm 6,9$ МПа и $3,3 \pm 0,1$ ГПа, соответственно.

При добавлении 30 вес% УВ (аспектное соотношение $AC = 200$) прочность на растяжение и модуль Юнга увеличивались до $142,7 \pm 12,5$ МПа и $12,9 \pm 0,6$ ГПа, соответственно. Введение идентичного количества 30 вес % СВ ($AC=200$) увеличение свойств было меньше: $113,1 \pm 9,7$ МПа и $9,0 \pm 0,3$ ГПа, соответственно. Это может быть связано с более высокой плотностью стекловолкна ($2,5 \text{ г/мм}^3$ по сравнению с КУВ – $1,75 \text{ г/мм}^3$), объемная доля которого при том же весовом содержании была меньше 17,4 %, в то время как для КУВ – 24,8 %.

В композитах с большим содержанием УВ и СВ, помимо количества, одновременно была большей длина армирующих включений: аспектное соотношение КУВ составляла 1000 при содержании 40 вес. % (30 об. %), в то время как для СВ аспектное соотношение было 445 при их содержании 50 вес.% (31,6 об.%). Предел прочности при растяжении и модуль Юнга композитов ПФА/40УВ составили $\sigma_U = 240 \pm 3$ МПа и $E = 33,7 \pm 1,9$ ГПа, в то время как в композите ПФА/50СВ: $\sigma_U = 207 \pm 1$ МПа и $E = 17,7 \pm 0,6$ ГПа, соответственно.

Таблица 1

Механические свойства чистого ПФА и композитов на его основе

№	Содержание наполнения, вес. %	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м ²	Твердость по Шору D
1	ПФА-чистый	$3,31 \pm 0,09$	$97,72 \pm 6,91$	$147,6 \pm 16,8$	$12,3 \pm 3,1$	$79,4 \pm 0,3$
2	ПФА-УВ30	$12,79 \pm 0,56$	$142,72 \pm 12,47$	$250,3 \pm 18,6$	$44,5 \pm 7,3$	$77,7 \pm 0,5$
3	ПФА-УВ40	$33,67 \pm 1,85$	$240,00 \pm 3,00$	$394,0 \pm 11,0$	$55,8 \pm 4,5$	$82,1 \pm 1,2$
4	ПФА-СВ30	$9,01 \pm 0,28$	$113,14 \pm 9,70$	$172,2 \pm 13,5$	$21,6 \pm 4,1$	$76,7 \pm 0,6$
5	ПФА-СВ50	$17,65 \pm 0,55$	$207,00 \pm 1,00$	$264,0 \pm 6,0$	$51,5 \pm 2,9$	$80,5 \pm 1,3$

В целом проявились две четкие тенденции: при равном весовом содержании введение КУВ обеспечивало больший вклад в повышение прочности. Повышение аспектного соотношения КУВ и СВ в несколько раз также сопровождалось заметным увеличением механических характеристик. Подобные же тренды характерны для прочности на изгиб и ударной вязкости.

Далее были проведены испытания трибологических свойств ПФА и его композитов. Согласно данным, приведенным в рис. 1, наиболее высоким сопротивлением изнашиванию при минимальном коэффициенте трения $CoF = 0,23-0,24$ обладал композит ПФА/40УВ. При этом величина CoF практически не менялась при трехкратном повышении нагрузки, а увеличение значения WR не превышало 1,5 раз: $2,33-3,47 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н м}$. Величина CoF была в 1,5 раза выше в композите ПФА/50СВ $0,32-0,37$, при практически стабильной величине $WR = 3,36-3,81 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н м}$. При меньших степенях наполнения (и меньшей длине волокон) композиты обладали кратно более низкими трибологическими свойствами.

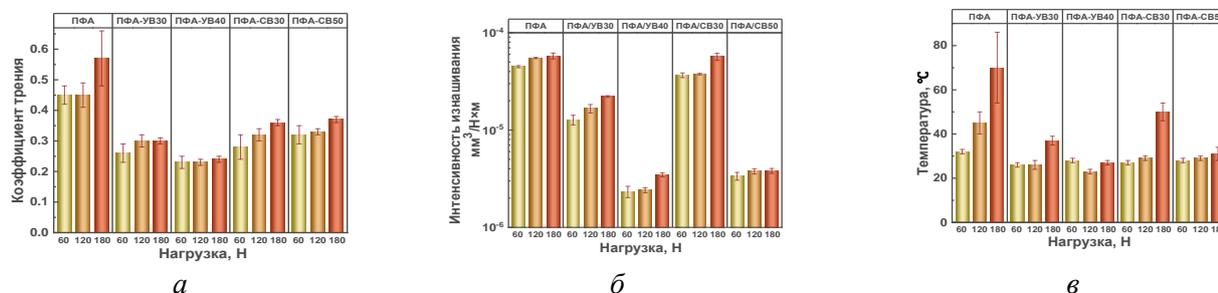


Рис. 1. Диаграммы трибологических свойств (а) коэффициента трения, б) интенсивности изнашивания, (в) температуры при разном уровне нагрузки; вал-колотка; сухое трение; контртело ШХ15

Заключение

В работе исследованы механические и трибологические свойства полифталамид и его композитов, армированных волокнами различных типов (углеволокон, стекловолокон), содержания и длины.

Показано, что длинные углеволокон в ПФА/УВ40 обеспечивают наилучшие механические свойства этого композита.

Установлено, что композиты ПФА/УВ40 и ПФА/СВ50 с большими АС имеют низкую интенсивность изнашивания и стабильные коэффициенты трения при высоких нагрузках. Это доказывает, что оба состава композитов обладают способностью работать в широком диапазоне условий эксплуатации $P \cdot V$ (нагрузка \cdot скорость).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0010.

Список литературы

1. Gonzalez de Gortari M., Misra M. and Mohanty A.K. Polyphthalamide polymers: A review on synthesis, properties, and advance manufacturing and emerging applications // Journal of Applied Polymer Science. – 139. – 40, 2022. – e52965.
2. Pini N. et al. Perspectives for reactive molding of PPA as matrix for high-performance composite materials. J. Thermoplast. // Compos. Mater. – 2006. – 19(2). – P. 207–216.
3. N. Ma. et al. Tribological behavior of polyetheretherketone composites containing short carbon fibers and potassium titanate whiskers in dry sliding against steel // J. Appl. Polym. Sci. – 2012. – Vol. 123, № 2. – P. 740–748.
4. Panin, S.V. et al. Effect of Tribological Layer Formation on Wear Resistance of PI and PEI-Based Nanocomposites in Point and Line Contacts // Appl. Sc. – 2023. – 13. – 3848.

АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДЕТАЛЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЦИКЛИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

Расстальная Д.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,
e-mail: dsr17@tpu.ru

Промысловые, технологические и магистральные трубопроводы выполняют из труб из малоуглеродистых и низколегированных марок стали, устойчивых к пониженным температурам. Широкое применение для трубного проката получила сталь 09Г2С (без хрома), но в настоящее время на замену все чаще приходит сталь 13ХФА (хромсодержащая).

Объектом исследования является сварное соединение стали 09Г2С со сталью 13ХФА. Целью исследования является определение совместимости свариваемости разнородных сталей с учетом электрохимических потенциалов и эквивалента углерода.

Анализ причин аварийных разрушений трубопроводов показал, что основные повреждения, являющиеся зародышами усталостных трещин, накапливаются в кольцевых сварных соединениях, особенно после ручной дуговой сварки. Сварочное соединение, находящееся в контакте с электролитом, представляет собой многоэлектродный гальванический элемент. Из-за структурной и химической неоднородности, неравномерности распределения механических напряжений на поверхности работают макрогальванические пары, электродами которых являются основной металл, шов, зона термического влияния и зоны максимальной концентрации напряжений.

Для решения поставленной задачи были изготовлены образцы из сталей 09Г2С и 13ХФА, сваренные электродами Э50А ручной дуговой сваркой. Химический состав стали 09Г2С, стали 13ХФА и сварного соединения были определены на спектрометре и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов

	Массовая доля элемента, %										
	Fe	C	Si	Mn	Cr	V	Cu	Sn	Ni	S	P
09Г2С	97,18	≤0,12	0,83	1,78	–	0,04	0,04	–	–	≤0,035	≤0,03
13ХФА	97,91	≤0,17	0,61	0,48	0,54	0,07	0,17	0,06	0,05	0,02	≤0,025
Сварное соединение	98,26	–	0,44	1,01	0,07	0,03	0,07	–	0,04	–	–

На рис. 1 приведена микроструктура стали 09Г2С и сварного соединения образца.

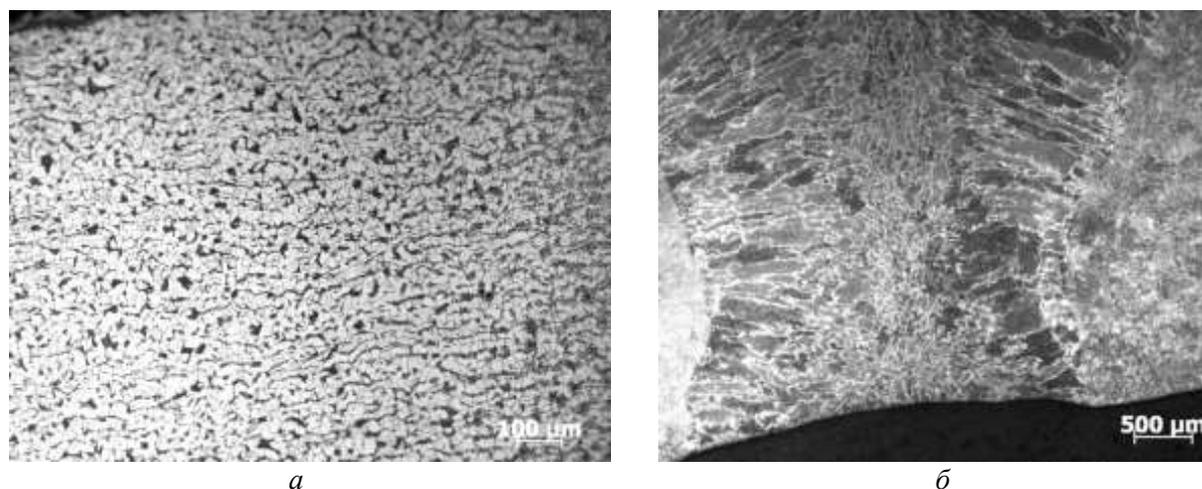


Рис. 1. Микроструктура образца: стали 09Г2С (а) и сварного соединения (б)

Доэвтектоидная сталь 09Г2С, как и сварное соединение, имеет ферритно-перлитную структуру. Здесь светлые зерна – это феррит, а темные участки представляют собой перлит, являющийся двухфазной структурной составляющей, состоящей из пластинок феррита и цементита.

Для определения вероятного места разрушения металла вследствие электрохимической коррозии были измерены значения электродных потенциалов основных металлов (стали 09Г2С и 13ХФА) и сварного соединения путем сравнения их с потенциалом эталонного электрода. Эталонный электрод представляет собой серебряную проволоку, покрытую хлоридом серебра, его потенциал при температуре 25 °С равен +0,222 В ($\pm 0,2$ мВ). Проволока опущена в насыщенный раствор хлорида калия, приготовленный по РД 52.24.495-2005.

На основании полученных данных установлено распределение потенциала в материале сварного шва и основных материалов, найдены анодные и катодные участки сварного соединения, а также построена диаграмма распределения потенциала по поверхности шва (рис. 2).

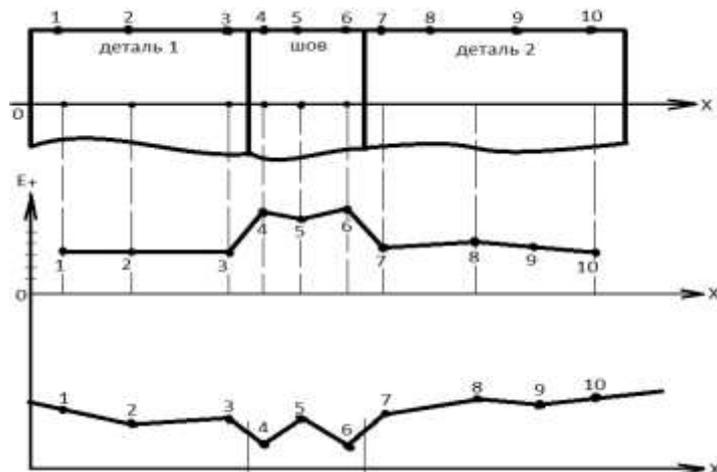


Рис. 2. Диаграмма распределения потенциала на поверхности шва

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что шов является анодом (более отрицателен) по отношению к основному металлу. Это приведёт к коррозии металла шва, так как поверхность основного металла неизмеримо больше поверхности шва, плотность анодного тока может быть значительной.

Список литературы

1. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учеб. пособие для вузов. – Стереотипное издание. Перепечатка с издания 1976 г. – М.: Альянс, 2014 – 472 с.
2. РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом»
3. Разработка рекомендаций по выбору марок сталей нефтегазопроводных труб для пилотных проектов ПАО «НК «Роснефть» на основе анализа аварийности, металлографических исследований характерных видов коррозионного разрушения и расчета стоимости владения трубопроводов. Отчет о НИР (промежуточ.) /ООО «ИТ-Сервис»; Руководитель Иоффе А.В., 2018. – 11 с.
4. Гуляев А.П., Гуляев А.А. // Металловедение: учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД Альянс, 2012. – 644 с.

РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА

*Чжун Х., магистрант группы 4БМ32,
Шевченко И.Н., аспирант группы А1-48,
Лямина Г.В., к.х.н., доцент ОМ ИШНПТ
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел. +79234031074
e-mail: ch02@tpu.ru*

Введение. Коррозия стали является серьезной проблемой промышленности. Коррозия значительно снижает прочность, пластичность, вязкость и другие механические свойства стали, сокращает срок службы оборудования и приводит к техногенным авариям [1].

Нанесение защитного полимерного покрытия является одним из эффективных и простых способов защиты стали от коррозии. В качестве наиболее используемых, можно выделить эпоксидные и акриловые покрытия, причем последние не требуют сложного оборудования и высокой квалификации сотрудников при синтезе и формировании защитного слоя на металле [2].

Эффективность таких покрытий снижается в агрессивных средах из-за набухания и отслаивания полимера. Нивелировать данный эффект можно посредством включения в матрицу полимера наночастиц (НЧ) металлов и их соединений [3]. В частности, добавка наночастиц оксида цинка приводит к увеличению барьерных свойств полимерного покрытия и усилению его сцепления с металлом [3–5].

Цель работы – получение антикоррозионного покрытия для стали на основе полиакриламида (ПАА) и НЧ ZnO и оценка его эффективности потенциодинамическим методом.

Экспериментальные методики. Синтез ПАА производили в растворе акриламида (5 масс. %), используя персульфат аммония в качестве инициатора (0,05 масс. %), в УЗ-ванне (ODA-LG40) при температуре 70 °С в течение 30 мин. НЧ получали на установке Nanospray Drying B-90 из суспензий гидроксида цинка.

После синтеза полимера в раствор добавляли НЧ ZnO варьируя массовую концентрацию от 0,05 до 0,5 %. Диспергировали НЧ в растворе полимера в течение 1 мин на вихревой мешалке (Вортекс Daihan VM-10) и 5 мин в УЗ-ванне.

Образцы стали Ст3, используемой в качестве защищаемого металла, шлифовали наждачной бумагой (Р640) и очищали этиловым спиртом. Полимерные покрытия наносили на металл методом погружения и высушивали образцы в термошкафу при 40 °С в течение 15 мин.

Регистрацию потенциодинамических кривых проводили на потенциостате CorrTest CS310 с трехэлектродной ячейкой со скоростью развертки 10 мВ/с, в диапазоне $\pm 0,3$ В относительно равновесного потенциала. В качестве электролитов использовали 0.1 М раствор HCl и 3,5 % раствор NaCl. Площадь рабочего электрода (Ст3) составляла 0,3 см²; в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения использовали насыщенные хлоридсеребряные электроды. Основные параметры коррозионных процессов (потенциал, ток коррозии) были рассчитаны с помощью программного обеспечения потенциостата CorrTest CS310.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлены потенциодинамические поляризационные кривые стали Ст3 с покрытиями, содержащими НЧ ZnO различных концентраций, построенные в координатах Тафеля, в кислой и нейтральной средах. Для сравнения на рисунках приведены коррозионные диаграммы для чистой стали.

В кислой среде потенциал коррозии увеличиваются для всех используемых составов. Увеличение концентрации НЧ ZnO приводит к монотонному смещению коррозионных кривых в сторону больших значений потенциала (рис. 1, а). Это свидетельствует о кумулятивном влиянии концентрации НЧ на барьерные свойства полимерного покрытия в данной среде.

Концентрация НЧ 0,5 масс. % для данного полимерного состава является предельной – при ее увеличении в растворе полимера наблюдается фазовое расслоение.

В нейтральной среде тенденция смещения значений потенциала коррозии в положительную область при увеличении концентрации НЧ сохраняется (рис. 1, б). Однако при нанесении покрытия без частиц наблюдается снижение потенциала коррозии, что может быть связано с набуханием полимерной матрицы.

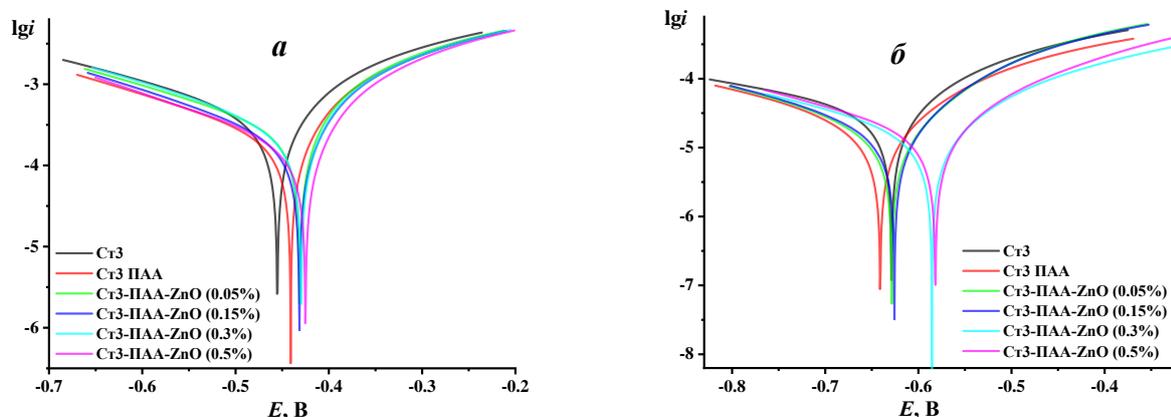


Рис. 1. Коррозионные диаграммы стали Ст3 в 0,1 М НСl (а), в 3,5 % NaCl (б)

В табл.1 представлены рассчитанные из тафельских кривых значения потенциалов коррозии, токов коррозии и эффективности ингибирования. Видно, что в данном случае четких закономерностей нет, хотя при использовании покрытий ток коррозии для всех составов ниже, чем для металла без покрытия.

Таблица 1

Коррозионные параметры образцов Ст3-ПAA-ZnO в 0,1 М НСl и в 3,5 % NaCl

Образец	0,1 М НСl			3,5 % NaCl		
	$E_{корр}$, мВ	$I_{корр}$, мкА	η , %	$E_{корр}$, мВ	$I_{корр}$, мкА	η , %
Ст3	-474,7	654,7		-629,0	123,7	
Ст3 ПAA	-448,9	426,5	34,9	-664,5	65,5	47,1
Ст3-ПAA+ZnO (0,05 %)	-437,9	518,4	20,8	-626,6	60,8	50,9
Ст3-ПAA+ZnO (0,15 %)	-436,0	393,7	39,9	-618,4	74,2	40,0
Ст3-ПAA+ZnO (0,3 %)	-432,0	442,2	32,5	-607,3	78,0	37,0
Ст3-ПAA+ZnO (0,5 %)	-430,1	389,5	40,5	-601,9	90,9	26,5

Скорее всего, основной вклад в значения токов дают окислительно-восстановительные процессы ионов цинка. В полимерной матрице цинк может находиться в виде основного оксида цинка, аморфной фазы смешанного состава, например гидроксида и оксида, и ионов цинка, которые могут образовываться как при формировании покрытия, так и в процессе поляризации электрода.

Выводы

1. Синтезированы и протестированы полимерные антикоррозионные покрытия на основе полиакриламида и НЧ ZnO, полученных на установке нанораспылительной сушки.
2. Показано, что в 0,1 М HCl покрытие на основе ПAA приводит к снижению плотности тока коррозии на 34,9 %, ПAA-ZnO ($C = 0,5$ %) – на 40,5 %.
3. Показано, что в 3,5 % NaCl покрытие на основе ПAA приводит к снижению плотности тока коррозии на 47,1 %, ПAA-ZnO ($C = 0,05$ %) – на 50,9 %.

Работа выполнена при поддержке Госзадания «Наука» номер 075-03-2023-105 на оборудовании ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

Список литературы

1. Potdar S.B., Praveen B.V.S., Sonawane S.H. Sonochemical approach for synthesis of zinc oxide-poly methyl methacrylate hybrid nanoparticles and its application in corrosion inhibition // Ultrasonics Sonochemistry. – 2020. – Vol. 68. – 105200.
2. Bairagi H., Vashishth P., Ji G., Shukla S.K., Ebenso E.E., Mangla B. Polymers and their composites for corrosion inhibition application: Development, advancement, and future scope – A critical review // Corrosion Communications. – 2024. – Vol. 15. – P. 79–94.
3. Zhao S.-R., Yuan X.-Y., Chen Y.-X., Lu Y., Zhang M., Liu J.-K. Enhancing corrosion inhibition performance of ZnO solid solution by doping variable-valence rare-earth element cerium // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2021. – Vol. 61, Is. 1. – P. 421–432.
4. Quadri T.W., Olasunkanmi L.O., Fayemi O.E., Solomon M.M., Ebenso E.E. Zinc oxide nanocomposites of selected polymers: synthesis, characterization, and corrosion inhibition studies on mild steel in HCl solution // ACS Omega. – 2017. – Vol. 2, Is. 11. – P. 8421–8437.
5. Al-Dahiri R.H., Turkustani A.M., Salam M.A. The application of zinc oxide nanoparticles as an eco-friendly inhibitor for steel in acidic solution // International Journal of Electrochemical Science. – 2020. – Vol. 15, Is. 1. – P. 442–457.

РАЗРАБОТКА АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА

*Афум Э.Т., магистрант группы 4БМ42,
Шевченко И.Н., аспирант группы А1-48,
Лямина Г.В., к.х.н., доцент ОМ ИШНПТ
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: afum15@tpu.ru*

Введение. Использование защитных полимерных покрытий в качестве средства по борьбе с коррозией сталей, является одним из наиболее экономичных и эффективных методов [1]. Для улучшения антикоррозионных и механических свойств полимерных покрытий всё чаще используют добавки наночастиц (НЧ) металлов и их соединений [2]. НЧ ZnO считаются одной из перспективных антикоррозионных добавок [3], они обеспечивают увеличение адгезии полимеров к поверхности металла и улучшают механические свойства антикоррозионных покрытий [4]. Например, в сочетании с акрилатами, можно создавать покрытия, которые обеспечивают долговременную защиту металлов [5].

Данная работа посвящена разработке антикоррозионного покрытия на основе полиметакриловой кислоты (ПМАК) с добавкой НЧ оксида цинка, полученного различными способами.

Экспериментальные методики. Раствор полиметакриловой кислоты, получали в смеси воды и 5 масс. % метакриловой кислоты. К смеси добавляли 1 масс. % (по отношению к массе мономера) персульфата аммония ($\text{NH}_4\text{S}_2\text{O}_8$) и выдерживали в УЗ-ванне при температуре 70 °С в течение 30 минут, затем при температуре 80 °С в течение 6 часов в термошкафу.

Наночастицы оксида цинка добавляли в раствор полимера следующим образом. В первом случае, предварительно синтезированные на установке распылительной сушки Nanospray Drying B-90 из суспензий гидроксида цинка, частицы добавляли в раствор полимера (ZnO–1). Во втором случае на этапе синтеза в раствор мономера добавляли 0,5 М $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (ZnO–2). В третьем случае в раствор помимо нитрата цинка добавляли 0,5 М NaOH в эквимолярном отношении к нитрату цинка (ZnO–3). Концентрация ZnO во всех случаях составляла 0,15 масс. %.

Образцы стали У8А, используемой в качестве защищаемого металла, шлифовали наждачной бумагой (Р320 – для гравиметрических испытаний, Р640 – для потенциодинамических испытаний) и очищали этанолом. Полимерные покрытия наносили механически с помощью кисти в случае гравиметрических испытаний и методом погружения в случае потенциодинамических испытаний, после чего образцы высушивались в термошкафу при 40 °С, в течение 15 мин.

Регистрацию потенциодинамических кривых проводили на потенциостате CorrTest CS310 с трехэлектродной ячейкой со скоростью развертки 10 мВ/с, в диапазоне $\pm 0,3$ В относительно равновесного потенциала (потенциала разомкнутой цепи). В качестве электролита использовали 0,1 М раствор HCl. Рабочий электрод представлял собой пластину стали (У8А) с площадью 0,3 см²; в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения использовали насыщенные хлоридсеребряные электроды. Основные параметры коррозионных процессов (потенциал, ток коррозии) были рассчитаны с помощью программного обеспечения потенциостата CorrTest CS310. Методом гравиметрии свойства покрытий оценивали в смеси концентрированных азотной и соляной кислот ($\text{HCl} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 3 : 5$ об. %).

Результаты и обсуждение. На рис. 1 представлены потенциодинамические поляризационные кривые стали У8А с покрытиями, содержащими НЧ ZnO полученными разными методами, построенные в координатах Тафеля, в среде 0.1 М HCl и кривые потери массы в смеси азотной и соляной кислот. Для сравнения на рисунках приведены кривые для чистой стали.

Видно, что потенциал коррозии для состава ПМАК без ZnO увеличивается. Добавка НЧ, полученных разными методами, приводила к его снижению до значений сопоставимых с потенциалом образца без покрытия (рис. 1, а). Из кривых потери массы (рис. 1, б) было отмечено снижение скорости стравливания металла для всех образцов с покрытием. Однако только в случае использования состава с добавкой ZnO–1, отмечалось увеличение антикоррозионных свойств полимерного покрытия.

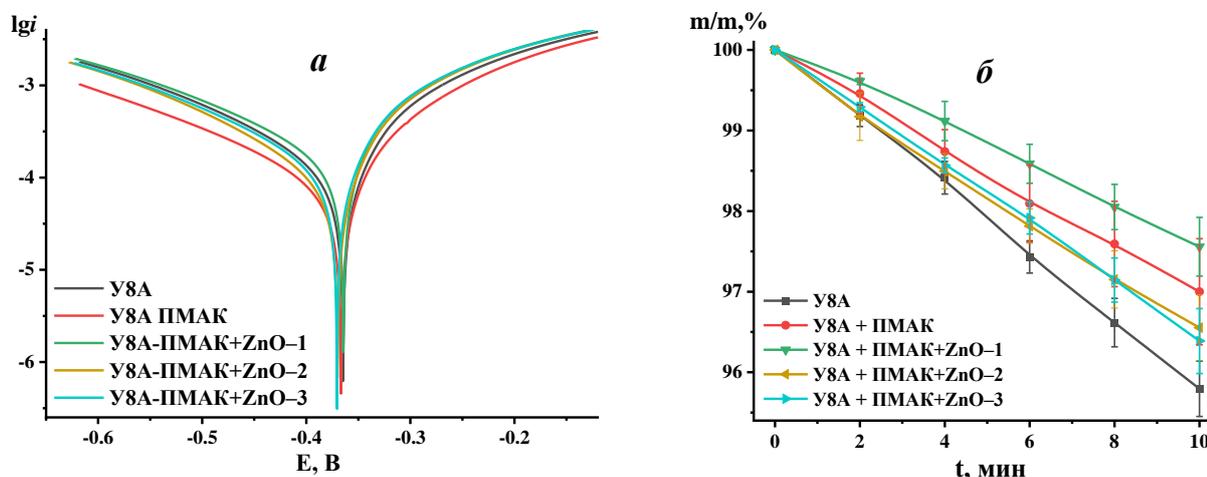


Рис. 1. Коррозионные диаграммы в 0,1 М НСl (а), кривые потери массы в смеси азотной и соляной кислот (б) стали У8А

В табл. 1 представлены рассчитанные из тафельских кривых значения потенциалов коррозии, токов коррозии, так же показаны значения остаточных масс образцов после гравиметрических испытаний в процентном эквиваленте и эффективности ингибирования, рассчитанные для обоих методов.

Таблица 1

Значения потенциала, тока коррозии и остаточных масс стали У8А

Образец	0.1 М НСl			HNO ₃ -НСl-H ₂ O	
	$E_{корр}, мВ$	$i_{корр}, мкА$	$\eta, \%$	$m_{(t=10мин)}/m_0, \%$	$\eta, \%$
У8А	-326,4	318,5		95,79	
У8А-ПМАК	-296,3	277,0	13,0	96,99	28,6
У8А-ПМАК+ZnO-1	-319,2	309,3	2,9	97,55	41,9
У8А-ПМАК+ZnO-2	-328,	238,8	25,0	96,55	18,0
У8А-ПМАК+ZnO-3	-330,9	158,3	50,3	96,38	14,1

Вероятно, увеличение плотности тока коррозии в случае использования ZnO–1 происходит из-за окислительно-восстановительных процессов ионов цинка. При добавке ZnO–2 и ZnO–3, нитрат цинка в процессе полимеризации активно встраивается в матрицу полимера, что снижает общий вклад в плотность тока коррозии.

Выводы

1. Показано, что в 0,1 М НСl покрытие на основе ПМАК приводит к снижению плотности тока коррозии на 13 %, У8А-ПМАК+ZnO–3 – на 50,3 %.
2. Показано, что в HNO₃-НСl-H₂O покрытие на основе ПМАК приводит к снижению плотности тока коррозии на 28,6 %, У8А-ПМАК+ZnO–1 – на 41,9 %.

Работа выполнена при поддержке Госзадания «Наука» номер 075-03-2023-105 на оборудовании ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

Список литературы

1. Bairagi H., Vashishth P., Ji G., Shukla S.K., Ebenso E.E., Mangla B. Polymers and their composites for corrosion inhibition application: Development, advancement, and future scope – A critical review // *Corrosion Communications*. – 2024. – Vol. 15. – P. 79–94.
2. Шипигузов И.А., Колесова О.В., Вахрушев В.В., Казанцев А.Л., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Черезова Л.А. Современные ингибиторы коррозии // *Химическая технология и биотехнология*. – 2016. – № 1. – С. 114–129.
3. Eman A.K., Amal H., Rania E.M. Magnetite nanoparticles/polyvinyl pyrrolidone stabilized system for corrosion inhibition of carbon steel // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2018. – Vol. 27. – P. 919–926.
4. Kamburova K., Boshkova N., Boshkov N., Radeva Ts. Composite coatings with polymeric modified ZnO nanoparticles and nanocontainers with inhibitor for corrosion protection of low carbon steel // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2021. – Vol. 609 – 125741.
5. Лямина Г.В., Шевченко И.Н., Данилова Т.В. Разработка ингибитора коррозии на основе суспензий наночастиц оксида цинка для сталей в кислых средах // *Бутлеровские сообщения*. – 2022. – Т. 71, № 7. – С. 20–28.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ТРУБЫ

*Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой, Юршев И.В., ст. преподаватель,
Кириленко А.С., канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Аэрокосмический институт,
кафедра материаловедения и технологии материалов,
e-mail: yvi170858@rambler.ru*

Качество и условия эксплуатации металлопластиковых изделий зависят от типа полимерного составляющего, размеров, технологии соединения алюминиевой гильзы и благонадежности производителя.

Исходя из состава, пластик для производства труб условно делится на две группы: полимеры высокого и низкого давления. К первой группе относятся: РЕ-RT (термостойкий полимер) и РЕХ (полиэтилен с «сшитыми» молекулярными цепочками, поперечные связи в котором преобразуют линейную структуру в стабильное трехмерное соединение).

Самые востребованные модификации для бытовой эксплуатации – трубы сечением 16 мм и 20 мм. Стандартная толщина стенки этих типоразмеров составляет 2 мм, алюминиевое армирование – 0,2 мм.

Метод производства металлополимерных труб заключается в сварке внахлест металлической ленты ультразвуком. С внешней и внутренней сторон алюминиевой трубы одновременно наносятся слои клея и полимера. При сварке встык используется аргоно-дуговая или лазерная сварка, за счет чего увеличивается производительность процесса. Прочность сварного шва внахлест всегда выше, чем при соединении встык. Если прочность фольгированного алюминия принять за единицу, то при стыковке внахлест этот параметр всегда будет больше единицы, при сварке встык – меньше единицы.

Для исследования сварного шва металлополимерной трубы был получен образец с дефектом по сварному шву, а также целый образец трубы того же производителя. Разрушенная труба разогнута и помыта, внутри трубы и в месте разрушения черный налет, вероятнее всего от воды системы отопления. Место разрушения четко идентифицируется (рис. 1). При визуальном осмотре также обнаружены участки с несквозными разрушениями с неразрушенным поверхностным слоем пластика и просвечивающимися черными отложениями.



Рис. 1. Образец трубы с дефектом

Вскрытие наружного слоя пластика до алюминия показало сквозной коррозионный участок алюминиевой трубы напротив обнаруженного отверстия во внутреннем слое пластика.

Для проверки качества алюминиевого слоя трубы в исследуемом образце, с противоположной стороны отрезка, т. е. рядом с местом разрушения изготовлен поперечный шлиф трубы (рис. 2, а), где обнаружено местное утонение на алюминиевом участке.

В табл. 1 приведены результаты измерения некоторых характеристик трубы и отмечено их соответствие паспортным значениям.

Однако на алюминии предположительно в зоне термического влияния сварного шва присутствует утонение с 0,26 мм до 0,13 мм (рис. 2, а). Это концентратор напряжения в виде углубления, с уменьшением сечения практически вдвое. Происхождение концентратора – сварочный подрез или механическое деформирование (тепловое, за счет линейного расширения, жесткой фиксации в стяжке). Механическое воздействие на внутреннюю поверхность трубы в результате заморозки теплоносителя маловероятно, поскольку фитинги и теплообменник не были разрушены.

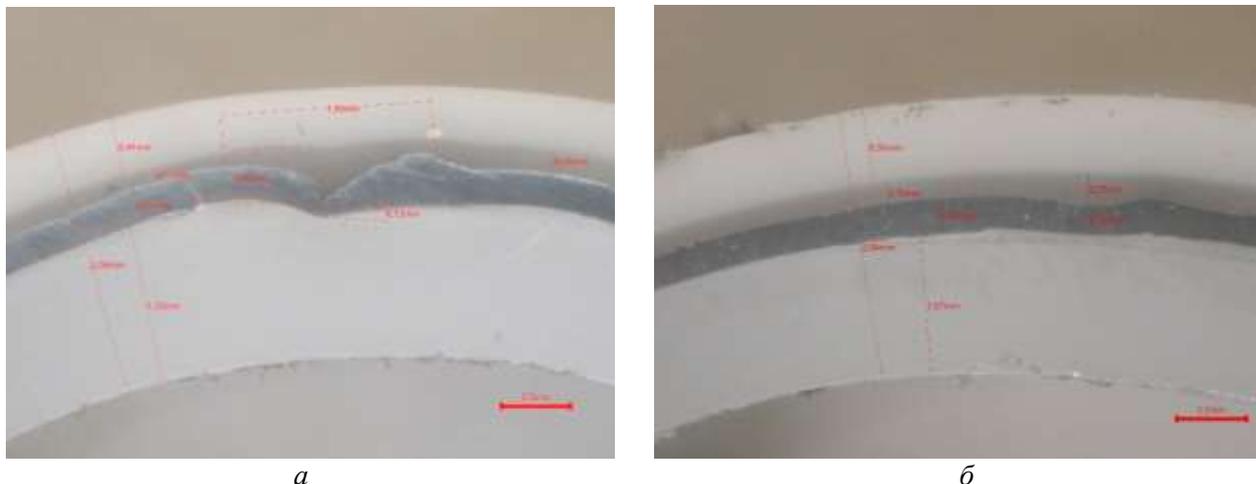


Рис. 2. Линейные измерения на шлифе исследуемого участка поврежденной (а) и новой (б) трубы

Таблица 1

Результаты измерения геометрических параметров поврежденной трубы (в миллиметрах)

Наименование параметра	Паспортные значения	Измеренные значения	Соответствие
Наружный диаметр	20	20±0,1	+
Внутренний диаметр	16	16±0,1	+
Толщина стенки	2	2,06	+
Толщина слоя алюминия	0,25	0,26	+
Толщина наружного слоя РЕХ	0,45	0,44	+
Способ сварки алюминия неплавящимся электродом в среде инертного газа (TIG), встык	+		

Изучение разрушения по алюминию при больших увеличениях позволило выявить в утоненной части трещины по металлу, а характерные очертания концентратора напряжения без оплавления (подрез – результат неправильного режима сварки) и обнаруженная трещина указывают на механические разрушения (рис. 3).



Рис. 3. Трещина в утоненной части алюминиевого слоя

Неповрежденная часть наружного и внутреннего слоя трубы и соответствие линейных размеров сохранились за счет большей пластичности пластика по сравнению с алюминием.

Для сравнения исследован фрагмент новой трубы (рис. 2, б), в сварном шве которой утонений или подреза не обнаружено.

Анализ марки пластика был проведен с использованием ИК-спектрофотометра. Для внешнего слоя поврежденной трубы результат показал 99,4 % совпадения с полиэтиленом, для внутреннего слоя – 97,2 % совпадения с полиэтиленом высокого давления.

Проведены механические испытания продольных образцов на растяжение на разрывной машине ИР 5082-100. Предел прочности при растяжении образца из новой трубы составил 26,5 МПа, из дефектной – 22,8 МПа.

Также проведены механические испытания кольцевых образцов на растяжение с целью определения прочности сварного шва. Предположительно шов изготовлен TIG сваркой, тогда его прочность составляет 0,8–0,9 от прочности алюминия и существенно меньше по сравнению со швом, изготовленным ультразвуковой сваркой, где прочность шва составляет 1,8–2,0 от прочности алюминия. Предел прочности при растяжении образца из новой трубы составил 26,4 МПа, из дефектной – 22,4 МПа.

Определялся предел прочности по алюминию, т. к. проверялась прочность сварного шва с концентратором напряжения и без концентратора на новой трубе.

Таким образом, разница в прочности шва с концентратором напряжения и без концентратора составляет 18 %.

В результате исследования можно сделать вывод, что в сварном шве на алюминии утонение с 0,26 мм до 0,13 мм является концентратором напряжения. Уменьшение поперечного сечения алюминиевого слоя практически вдвое привело к потере прочности. Происхождение концентратора напряжения – механические деформации в процессе монтажных работ.

Список литературы

1. ГОСТ 29325-92 (ИСО 3126-74). Трубы из пластмасс. Определение размеров. – Введ. 1993-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 4 с.
2. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – Введ. 2018-10-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 5-е изд., стер. – М.: Альянс, 2009. – 528 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. / А.П. Гуляев. – М. Металлургия, 1986. – 544 с.

ВЛИЯНИЕ НИТРАТА ЕВРОПИЯ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ ОКСИД ИТТРИЯ – ОКСИД АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

Деулина Д.Е.¹, Пайгин В.Д.², Шевченко И.Н.³, Илела А.Э.⁴

¹Аспирант, гр. АЗ-49, e-mail: ded5@tpu.ru;

²Научный сотрудник НОИЦ НМНТ, e-mail: vpaygin@mail.ru;

³Инженер НОИЦ НМНТ, e-mail: ins16@tpu.ru;

⁴Доцент Отделения материаловедения ИШНПТ, e-mail: 10detahy@tpu.ru;
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Томская область, город Томск, пр-кт Ленина, д. 30

В настоящее время иттрий-алюминиевый гранат (YAG, $Y_3Al_5O_{12}$) является перспективным материалом. Монокристаллы YAG широко применяется в качестве рабочего тела твердотельного лазера, а также в сцинтилляционной и оптической технике [1]. Он обладает высокими механическими и оптическими характеристиками, низким коэффициентом теплового расширения и низким коэффициентом акустических потерь [2]. Благодаря кубической кристаллической структуре иттрий-алюминиевый гранат пропускает электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 250 до 5000 нм [3].

Существует ряд распространенных технологий синтеза порошка иттрий-алюминиевого граната кубической модификации и высокой чистоты с минимальными производственными затратами. К ним относятся: гидротермальный и гидротермический синтез, золь-гель метод, метод распылительного пиролиза или распылительной сушки, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и химическое осаждение [1].

Выбор оптимального режима термической обработки прекурсоров в процессе синтеза [1], а также введение ионов активаторов (ионы редкоземельных элементов Eu, Tb, Er, Ce, Sm, Nd, Pr) [2], в состав порошка системы оксид иттрия – оксид алюминия позволяют получить люминесцентный материал с хорошими оптико-люминесцентными свойствами [4].

В данной работе исследовано влияния концентрации ионов европия (Eu^{3+}) на свойства порошков системы оксид иттрия – оксид алюминия, синтезированных методом химического осаждения с применением распылительной сушки.

Порошки системы оксид иттрия – оксид алюминия были синтезированы методом обратного осаждения. В качестве исходных компонентов использовали нитрат иттрия $Y(NO_3)_3$ Реахим, Россия), нитрат алюминия $Al(NO_3)_3$ (Реахим, Россия) и нитрат европия $Eu(NO_3)_3$ (Реахим, Россия). Из нитратов иттрия, алюминия и европия были получены 1 молярные растворы с использованием дистиллированной воды. Растворы смешивали в соотношении 3:5 нитрата иттрия и нитрата алюминия соответственно. В качестве осадителя использовали аммиак (NH_3) (Сигма Тек, Россия).

Выделение осуществляли при помощи распылительной сушки на установке NanoSprayDryer B-90 (Buchi, Швейцария). Термическую обработку полученных прекурсоров проводили на воздухе при температурах 1000 °С в течение 3 часов.

Оценка гранулометрического состава порошка была проведена методом лазерной дифракции (Shimadzu SALD-7101, Япония), в качестве дисперсионной среды использовалась дистиллированная вода, измерение проводилось под ультразвуковым воздействием, встроенного диспергатора (32 кГц, 40 Вт).

На рис. 1 представлены гистограммы распределения структурных элементов порошков системы оксид иттрия – оксид алюминия с добавлением ионов европия в количестве от 0,01 до 1 % по размеру.

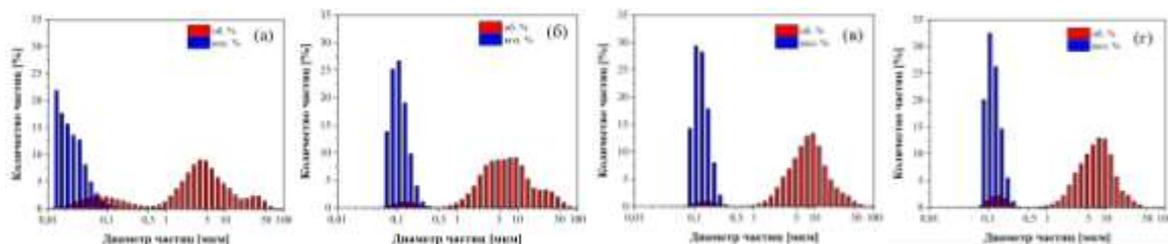


Рис. 1. Количественное и объемное распределение частиц исследуемых порошков по размерам для содержания ионов европия: а – 0 %; б – 0,01 %; в – 0,1 %; з – 1 %

В табл. 1 представлены результаты проведения гранулометрического анализа исследуемых порошков.

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа исследуемых порошков

Содержание Eu^{3+} , %	Средний размер частиц, мкм	D_{10} %, мкм	D_{50} %, мкм	D_{90} %, мкм
0	2,1	0,1	3,3	15,9
0,01	5,3	1,6	5,8	23,6
0,1	6,5	2,5	7,3	18,7
1	4,6	1,6	6,1	13,6

Из приведенных данных видно, что объемное распределение носит бимодальный характер, наибольшее количество частиц наблюдается в диапазоне от 1 до 50 мкм для всех образцов. Так же для образца без добавления ионов европия можно выделить второй диапазон от 0,01 до 0,5 мкм, а для образцов с содержанием ионов европия от 0,01 до 1 % – от 0,08 – 0,3 мкм. Количественное распределение является одномодальным. Для исходного порошка наблюдается диапазон размеров частиц от 0,01 до 0,1 мкм, для порошков с содержанием европия от 0,01 до 1 % европия – от 0,08 до 0,3 мкм, что согласуется с объемным распределением. Можно сделать вывод, что исходный порошок системы оксид иттрия – оксид алюминия состоит из частиц размером 0,1 мкм и их агломератов размером 2–6 мкм, а порошки с добавлением европия из более крупных частиц 0,2 мкм и их агломератов размером 5–10 мкм. Введение нитрата европия в состав порошка системы оксид иттрия – оксид алюминия приводит к увеличению среднего размера частиц от 2,1 мкм (0 % Eu) до 6,5 мкм (0, % Eu).

Таким образом показана возможность синтеза порошков системы оксид иттрия – оксид алюминия с добавлением ионов европия различной концентрации. Установлено что, введение ионов европия в состав порошков приводит к увеличению среднего размера частиц.

Работа выполнена при поддержке Госзадания «Наука» № 075-03-2023-105 на оборудовании ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

Список литературы

1. Tsai M.S., Fu W.C., Wu W.C., Chen C.H., Yang C.H. Effect of the aluminum source on the formation of yttrium aluminum garnet (YAG) powder via solid state reaction // Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – Vol. 455. – P. 461–464.
2. Muresan L.E., Popovici E.-J., Bica E., Cadis A. I., Perhaita I., Barbu Tudoran L. Investigation of thermal decomposition of yttrium–aluminum based precursors for YAG phosphors // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2012. – Vol. 110, № 1. – P. 341–348.
3. Dosovitskii G.A., Bogatov K.B., Volkov P.A., Mikhlin A.L., Dosovitskii A.E. Effect of adding boron on morphological and functional properties of aluminum–yttrium garnet activated with europium // Refractories and Industrial Ceramics. – 2013. – Vol. 54, № 1. – P. 69–73.
4. Zhanturina N., Sergeev D., Aimaganbetova Z., Zhubaev A., Bizhanova K. Features of the Spectroscopic Characteristics of Yttrium–Aluminum Garnets Doped with Europium at Different Concentration // Crystals. – 2023. – Vol. 13. – P. 702.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КОНСОЛИДИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ЦИРКОНИЯ

Кузьменко Е.Д.¹, Матренин С.В.²

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, 4БМЗ1,

e-mail: edk10@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,

e-mail: msv@tpu.ru

Керамика на основе карбонитрида циркония относится к группе тугоплавких материалов и обладает рядом уникальных свойств, таких как высокая твердость и прочность, стойкость к воздействию агрессивных химических сред и высокая окислительная стойкость. Получение данных материалов производится методами порошковой металлургии. Для достижения высокой плотности применяются различные методы спекания, такие как горячее прессование и искровое плазменное спекание. Данные методы включают в себя совмещение процессов нагрева и прессования. При этом метод искрового плазменного спекания за счет нагрева токами высокой частоты позволяет значительно интенсифицировать процесс спекания [1].

В проведенной работе для получения керамик на основе карбонитрида циркония были применены указанные методы спекания. При спекании были заданы следующие параметры: температура спекания 2000 °С, давления прессования 30 МПа, время выдержки при заданной температуре 15 минут.

Спеченные образцы были подготовлены для исследования физико-механических свойств. В работе был применен NanoIndenter G200. Измерение свойств на данном приборе производится по анализу кривых нагружения. С помощью анализа глубины проникновения индентора оценивается твердость материала, а по углу наклона части кривой, соответствующей снятию нагрузки оценивается модуль Юнга. Типовые кривые нагружения для образца, полученного методом искрового плазменного спекания показаны на рис. 1.

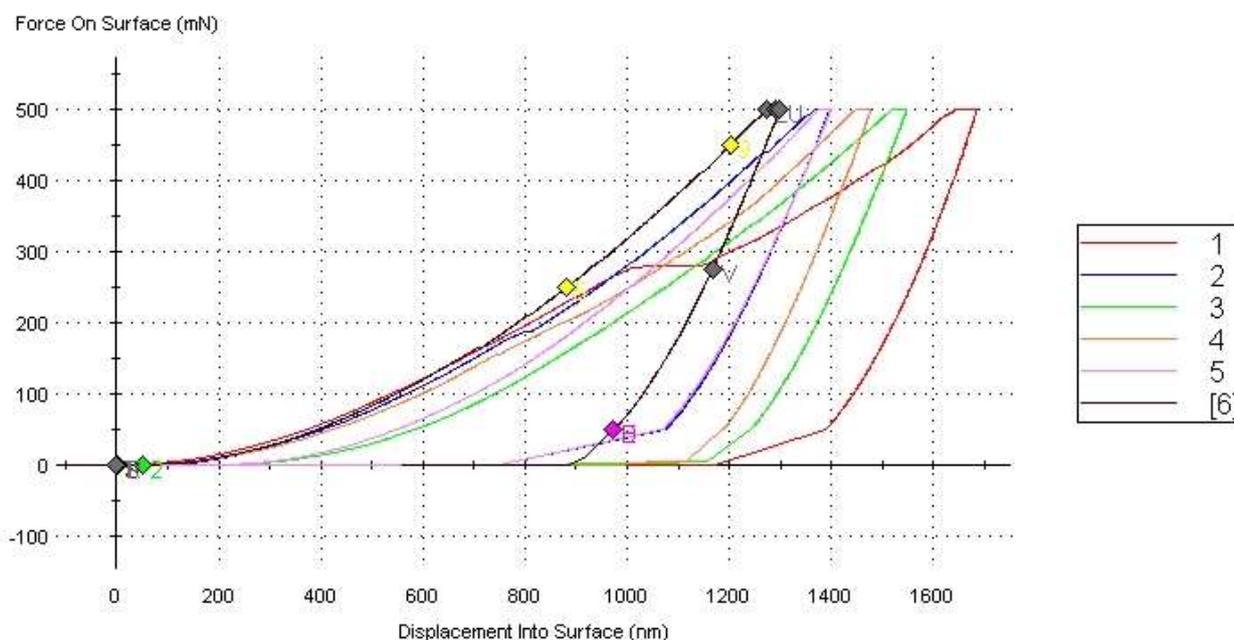


Рис. 1. Кривая нагружения для образца, полученного методом искрового плазменного спекания

Типовые кривые нагружения для образца, полученного методом горячего прессования показаны на рис. 2.

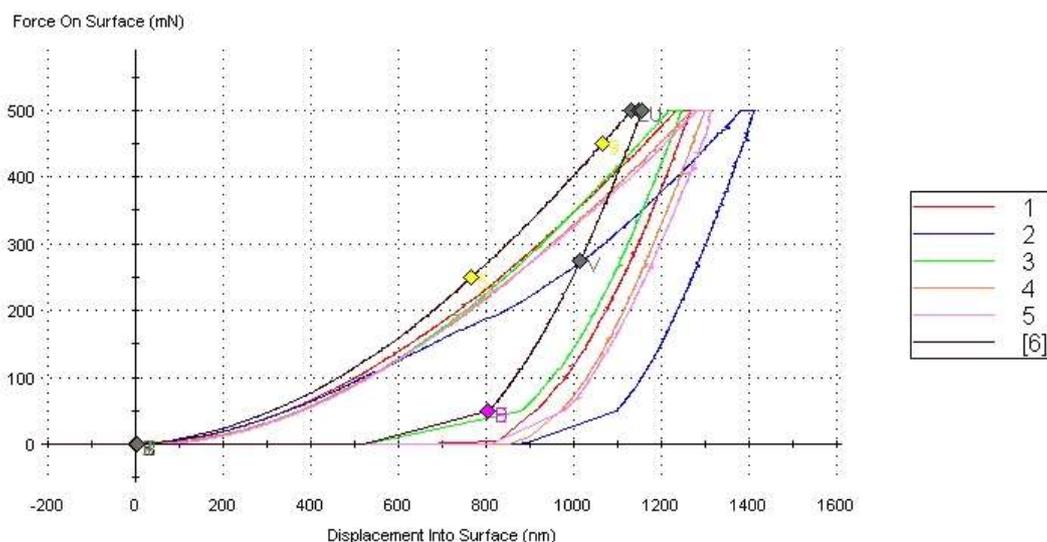


Рис. 2. Кривая нагружения для образца, полученного методом горячего прессования

По анализу построенных кривых нагружения было установлено, что при проведении спекания методом горячего прессования достигаются повышенные твердость и модуль Юнга по сравнению с образцами, полученными методом искрового плазменного спекания, что связано с пониженной пористостью горячепрессованных образцов. Снижение пористости при проведении горячего прессования обеспечивается за счет большего времени протекания процесса спекания. Для горячепрессованных образцов, полученных при спекании эквимольной смеси карбида и нитрида циркония были зафиксированы: твердость индентирования – 16 ГПа, модуль Юнга – 397,7 ГПа. Для образцов данного состава полученных при искровом плазменном спекании наблюдалось уменьшение твердости индентирования до – 12,97 ГПа, а модуля Юнга до – 343,3 ГПа, рис. 3.



Рис. 3. Механические свойства исследуемых образцов

Таким образом, было установлено, что при проведении горячего прессования достигаются повышенные физико-механические свойства.

Список литературы

1. Harrison R.W., Lee W.E. Processing and properties of ZrC, ZrN and ZrCN ceramics: a review // *Advances in Applied Ceramics*. – 2016. – V. 115, № 5. – P. 294–307.

ОПТИЧЕСКОЕ ПРОПУСКАНИЕ КЕРАМИКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ КОММЕРЧЕСКОГО НАНОПОРОШКА $MgAl_2O_4$ С ДОБАВКОЙ LiF

Лян Линьсинь, студент 154Б12

Хуан Фули, аспирант А1-53

Деулина Д.Е., аспирант А3-49

Шевченко И.Н., аспирант А1-48

Пайгин В.Д., к.т.н., научный сотрудник НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»,

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел. 8-(9234)-365-546

e-mail: ll03@tpu.ru

В работе методом электроимпульсного плазменного спекания была изготовлена керамика на основе алюмомагниевого шпинели с добавкой фторида лития в количестве от 0,1 до 1 мас. %. Изучено влияние фторида лития на оптическое пропускание керамики из алюмомагниевого шпинели методом электроимпульсного плазменного спекания.

Ключевые слова: оптическая керамика, электроимпульсное плазменное спекание, алюмомагниевого шпинель, фторид лития, нанопорошки.

Прозрачная керамика на основе алюмомагниевого шпинели ($MgAl_2O_4$, MAS) является одним из перспективных оптических материалов, обладающий уникальным комплексом оптических и физико-механических свойств. В последние годы появляется все большее количество работ, посвященных исследованию вопросов синтеза и консолидации алюмомагниевого шпинели. MAS керамика востребована в оптическом приборостроении, авиационной промышленности, машиностроении, где она используется в качестве элементов пассивной оптики [1, 2].

Для изготовления MAS-керамики применяются разные методы консолидации, среди которых перспективным считается электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС). Этот метод позволяет за короткое время получить изделий с плотностью близкой теоретической, сохранить фазовый состав, структуру и чистоту консолидируемого материала [3, 4].

Одна из основных проблем при ЭИПС оптически прозрачной керамики – загрязнение спекаемого материала углеродом, в следствие использования графитовой оснастки. Одним из вариантов решения указанной проблемы является применение спекающих добавок на основе соединений фтора [5–8].

Целью настоящей работы является изучение влияния фторида лития на пропускание керамики на основе алюмомагниевого шпинели.

В качестве исходных материалов использовали нанопорошок алюмомагниевого шпинели (SC30R, Baikowski Malakoff Inc., США) и микропорошок фторида лития (СХК, Россия). Содержание LiF в образцах варьировалось от 0,1 до 1 мас. %.

Смешивание проводили в изопропиловом спирте с использованием шаровой мельницы в течение 48 часов. После перемешивания полученную суспензию до полного испарения влаги.

Консолидацию керамики проводили методом ЭИПС на установке SPS-515S (SPS SYNTEX INC, Япония). Процесс спекания проводили в вакууме при температуре 1300 °С под давлением статической подпрессовки 100 МПа, продолжительность изотермической выдержки на заданной температуре спекания составила 15 мин.

В результате ЭИПС были получены образцы толщиной от 2 до 2,2 мм, диаметром – 14 мм. Измерение пропускание образцов в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм проводили на спектрофотометре СФ-56 УВИ (ОКБ Спектр, Россия).

Спектры пропускания образцов представлены на рис. 1.

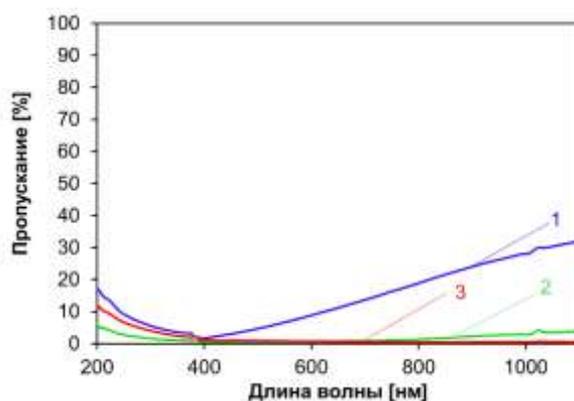


Рис. 1. Спектр пропускания образцов керамики на основе $MgAl_2O_4$:
1 – MAS: 0,1 мас. % LiF; 2 – MAS: 0,5 мас. % LiF; 3 – MAS: 1 мас. % LiF

Полученные образцы демонстрируют относительно низкое пропускание в ультрафиолетовой области, в диапазоне длин волн от 200 до 400 нм. Наблюдается аномальное понижение пропускания с увеличением длины волны в указанном диапазоне. В видимой области, в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, наблюдается повышение пропускания до 15 %. В инфракрасной области, в диапазоне длин волн от 700 до 1100 нм, наблюдается повышение пропускания до 32 %. Наибольшее пропускание демонстрирует образец, содержащий 0,1 мас. % LiF.

В работе изучено влияние LiF в количестве от 0,1 до 1 мас. % на пропускание керамики из алюмомагниевого шпинели. Показано, что с увеличением содержания LiF от 0,1 до 1 мас. % пропускание в видимой и инфракрасной областях понижается.

Работа выполнено при частичной поддержке проекта РФФ № 23-73-01241 на оборудовании ЦКП НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Список литературы

1. Sickafus K.E., Wills J.M., Grimes N.W. Structure of spinel // J. Am. Ceram. Soc. – 1999. – Vol. 82. – P. 3279–3292.
2. Xiao Z., Yu S., Li Y., Ruan S., Kong L.B., Huang Q., Huang Z., Zhou K., Su H., Yao Z., Que W., Liu Y., Zhang T., Wang J., Liu P., Shen D., Allix M., Zhang J., Tang D. Materials development and potential applications of transparent ceramics: A review // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2020. – Vol. 139. – 100518.
3. Wang S.F., Zhang J., Luo D.W., Gu F., Tang D.Y., Dong Z.L., Tan G.E.B., Que W.X., Zhang T.S., Li S., Kong L.B. Transparent ceramics: Processing, materials and applications // Progress in Solid State Chemistry. – 2013. – Vol. 41, I. 1–2. – P. 20–54.
4. Wang C., Zhao Z. Transparent $MgAl_2O_4$ ceramic produced by spark plasma sintering // Scripta Materialia. – Vol. 61, I. 2. – P. 193–196.
5. Zhang M., Liu J., Zhou J. Effect of Eu_2O_3 on sintering densification and corrosion resistance of magnesium aluminate spinel // Ceramics International. – 2022. – Vol. 48, I. 6. – P. 7557–7563.
6. Balabanov S.S., Yavetskiy R.P., Belyaev A.V., Gavrishchuk E.M., Drobotenko V.V., Evdokimov I.I., Novikova A.V., Palashov O.V., Permin D.A., Pimenov V.G. Fabrication of transparent $MgAl_2O_4$ ceramics by hot-pressing of sol-gel-derived nanopowders // Ceramics International. – 2015. – 41. – 13366–13371.
7. Ganesh I., Bhattacharjee S., Saha B.P., Johnson R., Mahajan Y.R. A new sintering aid for magnesium aluminate spinel // Ceramics International. – 2001. – Vol. 27, I. 7. – P. 773–779.
8. Nečina V., Hostaša J., Pabst W., Veselý M. Magnesium fluoride (MgF_2) – A novel sintering additive for the preparation of transparent YAG ceramics via SPS // Journal of the European Ceramic Society. – 2022. – Vol. 42, I. 7. – P. 3290–3296.

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТОЧЕЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА ДИСЛОКАЦИОННОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ВИНТОВОЙ ДИСЛОКАЦИИ В ДИССИПАТИВНОЙ СРЕДЕ

Дежин В.В.

Воронежский государственный технический университет, к.ф.-м.н., доцент
e-mail: viktor.dezhin@mail.ru

Ранее [1] отмечалась важность исследования дислокационного внутреннего трения [2] для понимания процессов, происходящих в конструкционных материалах. В настоящей работе продолжено исследование внутреннего трения, в частности, изучается влияние точечных дефектов, расположенных на некотором расстоянии вдоль прямолинейной винтовой дислокации, на дислокационное внутреннее трение. Считалось, что диссипация энергии при колебаниях дислокации осуществлялась взаимодействием с электронами проводимости [3]. Проведем ось Oz вдоль равновесного положения бесконечной винтовой дислокации, совершающей колебания в плоскости xOz . Расположим две цепочки точечных дефектов в плоскости xOz на расстоянии d_1 от оси Oz и еще две цепочки в плоскости yOz на расстоянии d_2 от оси Oz . Смещения прямолинейной винтовой дислокации при колебаниях $\xi(t) \ll d_1$ и $\xi(t) \ll d_2$ так как рассматриваются малые колебания в долине Пайерлса. При рассмотрении взаимодействия винтовой дислокации с точечными дефектами (атомами замещения) учитывались размерный и модульный эффекты [4]. Используя результаты [5–7], получим выражение для обратной обобщенной восприимчивости прямолинейной винтовой дислокации с учетом рельефа Пайерлса, взаимодействия с точечными дефектами, электронного торможения и радиационного трения

$$\alpha^{-1}(\omega) = \pi\sigma_P - \frac{\mu_1 b^2}{2\pi^2} K - \frac{\rho_1 b^2}{8\pi} \omega^2 \ln \frac{s_t^2 k_m^2}{\omega^2} - i \left(B\omega + \frac{\rho_1 b^2}{8} \omega |\omega| \right). \quad (1)$$

Здесь в действительной части первый член учитывает влияние барьера Пайерлса, второй член учитывает влияние точечных дефектов, третий член имеет смысл произведения эффективной массы винтовой дислокации на ее ускорение, в мнимой части первый член соответствует электронному торможению, а второй соответствует радиационному трению прямолинейной винтовой дислокации; ω – частота колебаний винтовой дислокации, σ_P – напряжение Пайерлса, $K = c\Omega_1 (3/d_1^4 - 1/d_2^4) [(1-\nu)(\Omega_2/\Omega_1 - 1)/(1-2\nu) + (1-\mu_2/\mu_1)]$, b – длина вектора Бюргерса винтовой дислокации, c – линейная плотность точечных дефектов, μ_1 – модуль сдвига кристалла-растворителя, μ_2 – модуль сдвига кристалла из атомов замещения, Ω_1 – объем атома кристалла-растворителя, Ω_2 – объем замещающего атома, ν – коэффициент Пуассона кристалла-растворителя, ρ_1 – плотность кристалла-растворителя, s_t – скорость поперечной звуковой волны в кристалле-растворителе, k_m – максимальное волновое число, B – коэффициент электронного торможения прямолинейной винтовой дислокации [3]. Собственные частоты колебаний прямолинейной винтовой дислокации ω_0 находим из решения уравнения $\text{Re} \alpha^{-1}(\omega) = 0$ или, учитывая выражение (1), из уравнения $(\omega^2/s_t^2 k_m^2) \ln(s_t^2 k_m^2/\omega^2) = 8\pi^2 \sigma_P / (\mu_1 b^2 k_m^2) - 4K / (\pi k_m^2)$. Далее из выражения (1) находим мнимую часть обобщенной восприимчивости, а затем, используя формулу из [8], аналогично выводу в [1, 6, 7], получаем выражение для внутреннего трения при колебаниях прямолинейной винтовой дислокации

$$Q^{-1}(\omega) = \frac{\rho_d \theta b^2 \left[B\omega/\mu_1 + b^2 \omega^2 / (8s_t^2) \right]}{\left(\pi \frac{\sigma_P}{\mu_1} - \frac{b^2 K}{2\pi^2} - \frac{b^2 \omega^2}{8\pi s_t^2} \ln \frac{s_t^2 k_m^2}{\omega^2} \right)^2 + \left(\frac{B}{\mu_1} \omega + \frac{b^2}{8s_t^2} \omega^2 \right)^2}, \quad (2)$$

где ρ_d – плотность винтовых дислокаций в кристалле, θ – ориентационный фактор винтовых дислокаций.

Для построения частотной зависимости внутреннего трения возьмем в качестве кристалла-растворителя кристалл меди, а в качестве атомов замещения – атомы алюминия. Кристаллы меди и алюминия имеют ГЦК-решетку, $\Omega_1 = \Omega_{\text{Cu}} = 1.18 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$, $\Omega_2 = \Omega_{\text{Al}} = 1.66 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$, $\mu_1 = \mu_{\text{Cu}} = 4.61 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, $\mu_2 = \mu_{\text{Al}} = 2.65 \cdot 10^{10} \text{ Па}$. Заметим, что при этих значениях точечные дефекты притягиваются к винтовой дислокации [4]. Пусть вектор Бюргерса винтовой дислокации – наименьший вектор Бюргерса полной дислокации $\mathbf{b} = (a/2)[110]$, где $a = 3.615 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ – параметр решетки кристалла меди, тогда $b = 2.556 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. В дальнейшем будем выбирать положение точечных дефектов в узлах кристаллической решетки, учитывая выбранное направление винтовой дислокации $[110]$ и выбранную плоскость скольжения (001) . Значения констант для кристалла меди: $\sigma_p/\mu_1 \approx 5 \cdot 10^{-4}$, $s_t = 2270 \text{ м/с}$, $\nu = 0.35$, $B/\mu_1 = 8.68 \cdot 10^{-17} \text{ с}$. Примем также $k_m = 10^{10} \text{ м}^{-1}$, $\rho_d = 10^{10} \text{ м}^{-2}$, $\theta = 0.5$.

Используя записанные значения и формулу (2), строим графики частотной зависимости внутреннего трения (рис. 1).

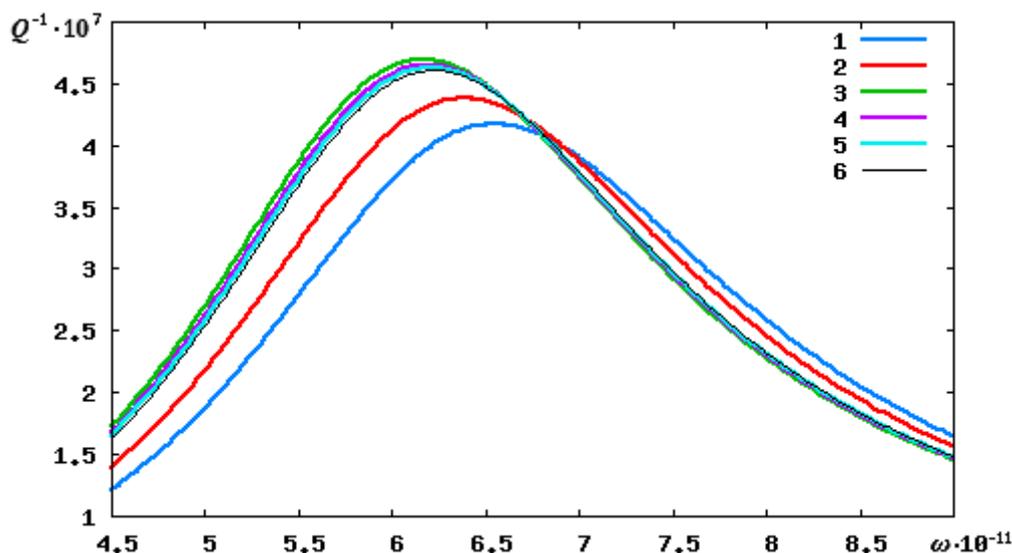


Рис. 1. Частотная зависимость внутреннего трения при различных значениях d_1 , d_2 , c :

1 – $d_1 = 2b = 5.112 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $d_2 = a = 3.615 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $c = 2 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$; 2 – $d_1 = 2b = 5.112 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $d_2 = a = 3.615 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $c = 10^8 \text{ м}^{-1}$;
 3 – $d_1 = 3b = 7.669 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $d_2 = 2a = 7.230 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $c = 10^8 \text{ м}^{-1}$; 4 – $d_1 = 3b = 7.669 \cdot 10^{-10} \text{ м}$,
 $d_2 = 2a = 7.230 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $c = 5 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$; 5 – $d_1 = 4b = 1.0225 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, $d_2 = 3a = 1.0845 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, $c = 5 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$; 6 – $c = 0$

В результате проведенного исследования установлено следующее.

- Значения собственных частот ω_0 и частот ω_m , соответствующих максимумам внутреннего трения, очень близки, что свидетельствует о резонансном типе пиков внутреннего трения на рис. 1. При этом $\omega_0 > \omega_m$. Небольшая разница в частотах обусловлена малым затуханием колебаний винтовой дислокации.

- Кривые 1–6 расположены близко друг к другу по частоте, так как влияние точечных дефектов очень мало. Это объясняется их противоположным влиянием на винтовую дислокацию. Действие точечных дефектов, лежащих в плоскости колебаний винтовой дислокации xOz , приводит к увеличению смещения винтовой дислокации. Действие точечных дефектов, лежащих в плоскости yOz , приводит к уменьшению смещения винтовой дислокации из ее положения равновесия.

- Если суммарное воздействие точечных дефектов стремится вернуть винтовую дислокацию в положение равновесия, то эффективное напряжение Пайерлса увеличивается. Ес-

ли суммарное воздействие точечных дефектов стремится вывести винтовую дислокацию из ее положения равновесия, то эффективное напряжение Пайерлса уменьшается.

- С увеличением расстояния между цепочками точечных дефектов и винтовой дислокацией, а также с уменьшением линейной плотности точечных дефектов кривые приближаются к кривой б (случай отсутствия точечных дефектов).

Список литературы

1. Дежин В.В. Вклад электронного торможения изгибных колебаний краевой дислокации в рельефе Пайерлса во внутреннее трение // Современные проблемы машиностроения: сб. статей XVI Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – С. 317–318.

2. Blanter M.S., Golovin I.S., Neuhäuser H., Sinning H.-R. Internal friction in metallic materials. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 539 p.

3. Каганов М.И., Кравченко В.Я., Нацик В.Д. Электронное торможение дислокаций в металлах // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 111, № 4. – С. 655–682.

4. Nabarro, F.R.N. Solution and precipitation hardening // The physics of metals. Part 2. – Cambridge: Cambridge University Press, 1975. – P. 152–188.

5. Рошупкин А.М., Батаронов И.Л., Дежин В.В. Обобщенная восприимчивость дислокации в диссипативном кристалле // Известия РАН. Серия физическая. – 1995. – Т. 59, № 10. – С. 12–16.

6. Dezhin V.V. Internal friction due to elastic waves radiation during screw dislocation bending vibrations in the Peierls relief // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2999. – P. 020039.

7. Dezhin V.V. Contribution of bending vibrations damping to internal friction caused by electron braking of screw dislocation interacting with point defects // Proceedings of SPIE. – 2024. – Vol. 13065. – P. 130651I.

8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика. Ч. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 616 с.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА КОЛЛОИДНЫХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ

Лю Я¹, Станько А.Ю.²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, специальное машиностроение,
e-mail: 3117608930@qq.com

²Томский политехнический университет, отделение материаловедения,
e-mail: stanco@tpu.ru

Введение

Наночастицы Zn перспективны или уже используются для очистки сточных вод [1] и сельского хозяйства [2], в результате чего могут попадать в гидросферу и оказывать негативное воздействие на морские организмы [3], гидрофиты [4] и бактерии [5]. При этом на биологические свойства наночастицы большое внимание оказывает их коллоидная стабильность [6]. Для обеспечения качества и безопасности высокодисперсных материалов необходимы эффективные и простые методы испытаний их коллоидных свойств.

Изучение седиментационных свойств путем анализа оптических свойств суспензий наночастиц является простым, но эффективным подходом для анализа стабильности водных суспензий наночастиц, как было показано на примере наночастиц CuO [7], TiO₂ [8] и нанотрубок [9]. Он позволяет определить изменение удельной концентрации наночастиц и использовать кинетическое уравнение первого порядка для расчета константы скорости осаждения. Однако, отсутствуют работы, позволяющие сделать статистический анализ результатов для наночастиц заданного состава.

Целью работы являлась разработка методики изучения седиментационных свойств наночастиц в водной суспензии путем определения оптимального времени седиментации.

Экспериментальная часть

В работе исследовали электровзрывные наночастицы Zn (ООО «Передовые порошковые технологии», г. Томск, Россия) со средним размером 60 нм и содержанием Zn не менее 95 мас. %.

В работе дистиллированную воду (рН = 6,5±0,2, дистиллятор АЭ-25 МО (ОАО ТЗМОИ, Тюмень, Россия) доводили до заданного значения рН (6, 7 и 8) титрованием 0,1 М растворами NaOH и HNO₃ при непрерывном перемешивании на магнитной мешалке BioSan MS-3000 (Heidolph, Россия, 200 об/мин, элемент 5×10 мм). Значения рН регистрировали с помощью универсального рН-метра ST3100-F (Ohaus, США, ±0,01 рН, Ag/AgCl электрод). Чтобы приготовить суспензии, к 0,05 г наночастиц (весы GR-202, AND Co., Япония, ±0,0001 г) добавляли 50 мл раствора с заданным рН. Далее суспензию обрабатывали в ультразвуковой ванне ODA-LQ40 (ОДА Сервис, Россия, 4 л, мощность 120 Вт) в течение 15 мин. Затем контейнер вручную встряхивали в течение 5 секунд, и из него наполняли стеклянную кювету спектрофотометра для измерений.

Для изучения седиментационных свойств измеряли коэффициент светопропускания (Т, %) на спектрофотометре PD-303 (Arel, Япония, 560 нм, 25±2 °С) в течение 180 минут. В качестве эталона использовали дистиллированную воду (Т = 100 %). Из полученного значения Т рассчитывали коэффициент адсорбции (А = -lg(T/100), уд. ед.), сопоставимый с изменением концентрации частиц в суспензии (С). Параметризацию кинетики осаждения проводили, используя полуэмпирическое уравнение для реакции первого порядка, используемого для описания, зависящего от времени удаления частиц из водной фазы [7]:

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{C_{\text{res}}}{C_0}\right) e^{-k_{\text{sed}} \cdot t} + \frac{C_{\text{res}}}{C_0} \quad (1)$$

где С – концентрация частиц в суспензии, уд. ед в момент времени t, мин; С₀ – начальная концентрация частиц в суспензии (t = 0 мин), С_{res} – остаточная концентрация через бесконечное время, уд.ед., k_{sed} – константа скорости седиментации, мин⁻¹; t – время седиментации, мин.

Для определения, насколько модель линейной регрессии соответствует данным, на которых она построена, рассчитывали коэффициент детерминации R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_{i, \text{теор}} - y_{i, \text{эксп}})^2}{\sum (y_{i, \text{эксп}} - y_{\text{ср. эксп}})^2} \quad (2)$$

где $y_{i, \text{теор}}$ – теоретическое изменение удельной концентрации частиц (C/C_0), $y_{i, \text{эксп}}$ – экспериментальные изменения удельной концентрации частиц, $y_{\text{ср. эксп}}$ – среднее изменение экспериментальной удельной концентрации частиц.

Результаты и обсуждение

Для разработки методики было важно определить, какое время эксперимента является достаточным для получения воспроизводимых данных. С этой целью были рассчитаны коэффициент детерминации R^2 остаточная концентрация (C_{res}/C_0) через бесконечное время и константа скорости осаждения (k_{sed}) для разного времени эксперимента (рис.1).

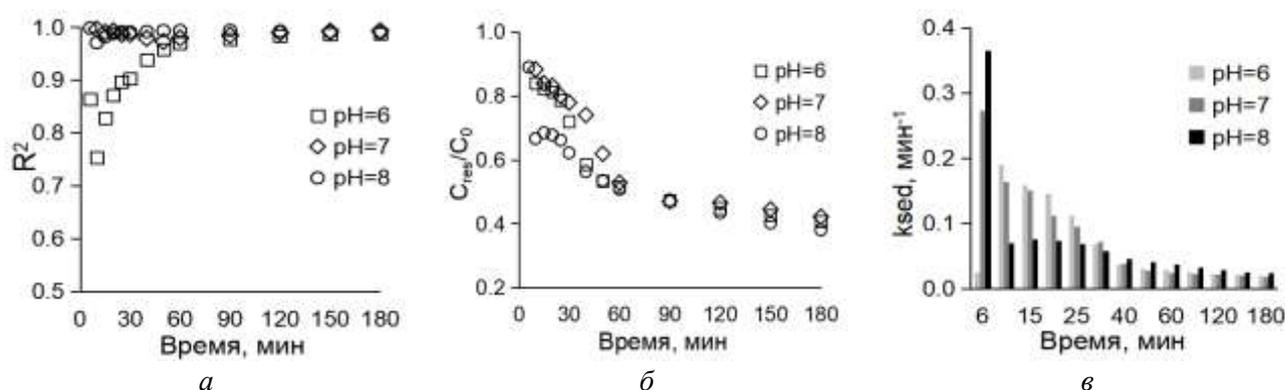


Рис. 1. Влияние времени седиментации на коэффициент детерминации R^2 (а), остаточную концентрацию частиц C_{res}/C_0 (б) и константу скорости осаждения k_{sed} (в) в воде при разном рН. Двухкратный эксперимент

Показано, что при времени <60 мин значения $R^2 < 0,97$. Например, в воде при рН = 6 значения R^2 составили 0,7526...0,8972...0,9690, соответственно, при времени осаждения 10...25...60 минут. При более длительном эксперименте R^2 достигает 0,99 (рис. 1, а). Далее коэффициент может колебаться, но не опускались ниже 0,97. Например, при рН = 6 в воде величина R^2 составила 0,9775...0,9833...0,9860...0,9874, соответственно, через 90...120...150...180 мин.

В силу того, что используемая модель по-разному описывала данные, было отмечено влияние времени на параметры седиментации. Видно, что чем дольше снимали данные, тем ниже остаточная концентрация и константа скорости. При этом в первые 60 минут наблюдалась значительное снижение параметров, а при >60 минут тенденция несколько снизилась. Например, в воде с рН = 7 при времени седиментации 6...30...60...90...180 минут величина C_{res}/C_0 составила 88...74...47...47...40 % (рис. 1, б), а k_{sed} 0,274...0,072...0,024...0,018, соответственно (рис. 1, в). В целом, видно, что изменение параметров седиментации минимально при времени >120 мин.

Заключение

Показано, что седиментация электровзрывных наночастиц Zn в воде с физиологическим рН (6...8) хорошо описывается кинетическим уравнением первого порядка при времени эксперимента не менее 60 мин ($R^2 \geq 0,9$). Однако, более длительный эксперимент не влияет на R^2 , но влияет на параметры седиментации (остаточная концентрация в суспензии и константа скорости седиментации частиц), которые перестают уменьшаться при времени >120 мин.

Список литературы

1. Mahmood R.M. Effect of zinc nanoparticles on water pollution treatment // *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*. – 2022. – Vol. 11 – P. 134–149.
2. Ahmed R., Uddin M.K., Quddus M.A., Samad M.Y.A., Hossain M.M., Haque A.N.A. Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. – 2023. – Vol. 9(2) – P. 162.
3. Vimercati L., Cavone D., Caputi A., Maria L.D., Tria M., Prato E., Ferri G.M. Nanoparticles: an experimental study of zinc nanoparticles toxicity on marine crustaceans. General overview on the health implications in humans // *Nanoparticles Toxicity and Health Implications*. – 2020. – Vol. 8. – P. 1–19.
4. Sarker I., Moore L.R., Tetu S.G. Investigating zinc toxicity responses in marine *Prochlorococcus* and *Synechococcus* // *Microbiology Society Microbiology Society*. – 2021. – Vol. 167. – P. 1–11.
5. Santhi R., Shanthi C., Sathya M., Pushpanathan K. Optical properties and anti-bacterial activity of CdO:Zn nanoparticles // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. – 2016. – Vol. 605. – P. 249–258.
6. Lead J. R., Wilkinson K. J. Aquatic colloids and nanoparticles: current knowledge and future trends // *Environmental Chemistry*. – 2006. – Vol. 3(3). – P. 159–171.
7. Qiu Y., Mu Z., Wang N., Wang X., Xu M., Li H. The aggregation and sedimentation of two different sized copper oxide nanoparticles in soil solutions: Dependence on pH and dissolved organic matter // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 731. – P. 139–215.
8. Hsiung C.E., Lien H.L., Galliano A.E., Yeh C.S., Shih, Y.H. Effects of water chemistry on the destabilization and sedimentation of commercial TiO₂ nanoparticles: Role of double-layer compression and charge neutralization // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 151. – P. 145–151.
9. Zhao T., Fang M., Tang Z., Zhao X., Wu F., Giesy J.P. Adsorption, aggregation and sedimentation of titanium dioxide nanoparticles and nanotubes in the presence of different sources of humic acids // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol. 692. – P. 660–668.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА ПРОЦЕСС МИКРОВОЛНОВОГО СПЕКАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА

*Женжурист И.А.,
Казанский государственный энергетический университет,
к.т.н., доцент кафедры МВТМ
E-mail: ir.jenjur@yandex.ru*

Использование вторичных ресурсов является необходимой мерой для таких материало- и энергоемких отраслей промышленности как металлургия. Такие отходы производства как металлургические шлаки, шламы используются широко в производстве различных видов строительных материалов в качестве основного сырья, например, при производстве минеральных вяжущих веществ и модифицирующих добавок в производстве различных видов керамических материалов.

Металлургическое производство основано на высокотемпературной переработке природного сырья, многотоннажные отходы которого представляют собой композицию из смеси оксидов различных элементов, представленной кристаллической и аморфной фазой.

В последние годы значительное количество работ посвящено использованию микроволновой энергии электромагнитного поля для получения материалов с особыми свойствами, повышенной прочности на основе оксидных и бескислородных систем [1–3]. Проведены исследования по спеканию в поле СВЧ полиминеральных алюмосиликатных композиций [4], отмечена необходимость использования легкоплавких флюсов для получения качественных, без сколов и трещин образцов. Отмечено влияние на качество спекания минерального состава композиции.

На основании ранее проведенных исследований была поставлена задача изучения процесса спекания образцов из алюмосиликатного шлака, влияние состава и добавки легкоплавкой соли на качество получаемого материала.

Для исследования были взяты образцы доменного и сталеплавильного шлака Челябинского металлургического комбината, отличающихся по составу основных оксидов, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шлаков, мас. %

Шлак	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	др.
Доменный	40,3	10,1	0,3	37,2	0,8	0,7
Сталеплавильный.	15,6	4,7	13,3	34,2	9,2	6,4

В качестве минерализатора использовали соль NaCl (ГОСТ 51574-2000), рекомендованную при спекании алюмосиликатных полиминеральных смесей [4]. Для спекания образцов использовали микроволновую печь марки Samsung M 1711 NR (2,45 ГГц, 800 Вт) с установленным внутри муфелем из муллито-кремнеземистых плит и защищенной от излучения термопарой. Образцы-кубики размером 15×15×15 мм формовали из увлажненной до влажности 8–10 % массы, сделанной из предварительно размолотого и просеянного через сито 1 шлака. Увлажняли водой или раствором соли. Образцы ставили на обжиг до 1000 °С с выдержкой 10 мин. Образцы осматривали и испытывали на сжатие. Проводили микросъемку изломов образцов на системе с электронным и сфокусированным ионным пучком Quanta 200 3D, показавших наибольшую прочность.

Результаты испытаний на прочность, спеченных в поле СВЧ образцов приведены на графике рис. 1. Видно, что уровень прочности спеченных в микроволновой печи образцов из сталеплавильного шлака выше, чем доменного. Это можно объяснить большим содержанием

оксидов железа в сталеплавильном шлаке, которые могут создавать легкоплавкие соединения в алюмосиликатной композиции, особенно в присутствии легкоплавкой соли.

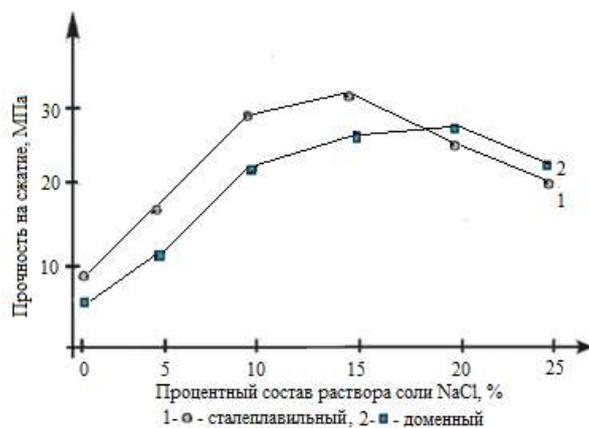


Рис. 1. Зависимость спеченного в поле СВЧ шлака от добавки легкоплавкой соли

Микроструктура излома образца, показавшего наибольшую прочность, представлена на рис. 2.

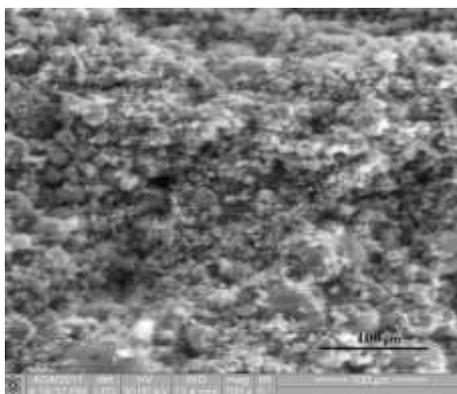


Рис. 2. Микроструктура излома образца спеченного сталеплавильного шлака

Из рис. 2 видна высокая плотность и равномерная микропористая структуры материала, показавшего наибольшую прочность.

Экспериментальная работа по спеканию в электромагнитном поле СВЧ образцов из металлургических шлаков показала принципиальную возможность утилизации металлургических шлаков по энерго-экологической технологии получения изделия. Технология может быть рекомендована для получения конструкционных материалов строительного назначения.

Список литературы

1. Yu S., Gu Y, Bi L. Технология микроволнового нагрева электролитов в твердооксидных топливных элементах // Успехи химии. – 2022. – Т. 91(11). – С. 1–16.
2. Egorov S.V., Ereemeev A.G., Kholoptsev V.V., Plotnikov I.V., Rybakov K.I., Sorokin A.A., Rostokina E. Ye, Balabanov S.S. Effect of absorbed power and dopant content on densification during rapid microwave sintering of Bi₂O₃-doped ZnO. // Journal of the American Ceramic Society. – 2023. – Vol. 106. – P. 878–887.
3. Jaehun Cho, Qiang Li, Han Wang, Zhe Fan, Jin Li, Sichuang Xue, Vikrant Haiyan Wang, Troy B., Amiya K., R. Edwin García, Xinghang Zhang // High temperature deformability of ductile flash-sintered ceramics via in-situ compression. Nature communications. – 2018. Vol. 9. – P. 1–9.
4. Zhenzhurist I., Morozova N. The use of a microwave electromagnetic field for sintering polymineral compositions from clay raw materials // AIP Conference Proceedings. – 2023 – 2911. – 020013.

О ТЕКСТУРЕ СПЛАВА AA2055 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ЗАКАЛКИ

Зуйко И.С.¹, Юзбекова Д.Ю.², Миронов С.Ю.³

¹ *Белгородский государственный национальный исследовательский университет, с.н.с.,
e-mail: yuzbekova@bsu.edu.ru*

² *Белгородский государственный национальный исследовательский университет, м.н.с.,
e-mail: zuiiko_ivan@bsu.edu.ru*

³ *Белгородский государственный национальный исследовательский университет, в.н.с.,
e-mail: mironov@bsu.edu.ru*

Недавно разработанные сплавы системы Al-Cu-Li (третьего поколения), например, такие как сплав AA2055, хорошо подходят для аэрокосмической отрасли, поскольку они демонстрируют малый вес, высокую прочность и хорошую термическую стабильность. Типичная обработка, применяемая к этим сплавам, состоит из стадии горячей обработки, за которой следует закалка, холодная деформация и искусственное старение. Высокие прочностные характеристики сплавы данной серии получают за счёт последней операции (старения), в ходе которой выделяются частицы вторых фаз, а именно T_1 и θ' .

Несмотря на отличные свойства, сплавы Al-Cu-Li не лишены недостатков, одним из которых является анизотропия. Это связано с текстурой деформации, а также преимущественным выделением упрочняющих частиц, то есть вдоль $\{001\}_\alpha$ в случае θ' и вдоль $\{111\}_\alpha$ в случае T_1 . Во время прокатки алюминиевых сплавов зёрна в них, как правило, вытягиваются вдоль направления прокатки и могут приобретать текстуру меди, латуни и S. Таким образом, анизотропия играет ключевую роль в понимании и контроле механических свойств Al-Cu-Li сплавов, а также в оптимизации процессов их производства и применения. Традиционная текстура, возникающая в алюминиевых сплавах, при прокатке характеризуется «текстурой меди». Важно, что текстуру прокатки можно представить как «непрерывную трубку» текстур с осью называемым β -волоконном ($\langle 110 \rangle$ повёрнуты на 60° по направлению прокатки). Начинается волокно с Латуни (Brass, $\{110\}\langle 112 \rangle$), проходит через S ($\{112\}\langle 634 \rangle$) к Меди ($\{112\}\langle 111 \rangle$). При повышенных температурах прокатки, как правило, преобладает компонента Латуни. Поскольку вопрос анизотропии Al-Cu-Li сплавов, а точнее момент её возникновения является актуальным, в данной работе с помощью ориентационной микроскопии была проанализирована текстура современного сплава, который был гомогенизирован, прокатан и закалён.

Слиток сплава AA2055 (Al-4Cu-1,0Li-0,5Zn-0,4Ag-0,4Mg-0,3Mn-0,1Zr, вес.%) был получен на базе НИУ «БелГУ» методом полунепрерывного литья с высокой скоростью кристаллизации. Далее слиток подвергся двухступенчатому гомогенизационному отжигу, осажен с 3-х сторон и прокатан в горячую (460°C) до суммарной степени деформации $\sim 1,0$. Последующая обработка на твёрдый раствор проводилась при 510°C в течении 2-х часов с последующей закалкой в воду ($\sim 20^\circ\text{C}$).

Механические свойства при испытании на растяжение и микротвёрдость закалённого сплава AA2055 представлены в сопутствующей работе. Здесь мы более подробно остановились на текстуре сплава после горячей прокатки и закалки. Для этого были получены крупномасштабные EBSD карты, которые представлены на рис. 1. После горячей прокатки структура представлена вытянутыми вдоль направления прокатки зёрнами. Их поперечный размер 80 ± 30 мкм, а продольный – 550 ± 140 мкм. Несмотря на высокую температуру обработки на твёрдый раствор, закалка не приводит к равноосной зёрненной структуре. Ширина полосовой структуры уменьшается до 22 ± 13 мкм, а длина остаётся неизменной. Такая мелкозернистая структура должна положительно сказаться на макроскопической механической прочности, поскольку она будет обеспечивать больший вклад от структурного упрочнения в прочность материала в соответствии с уравнением Холла-Пэтча. Количество малоугловых границ с 62 % после горячей прокатки возрастает до 93 % после закалки. Это можно связать с протеканием возврата в процессе нагрева для обработки на твёрдый раствор.

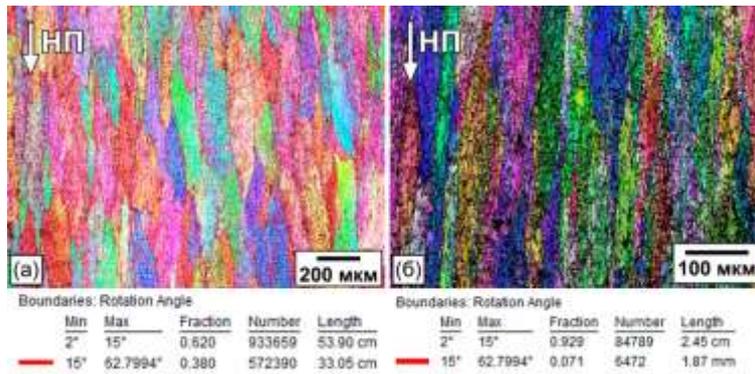


Рис. 1. Микроструктура сплава после горячей прокатки а) и закалки б). Точки с неявно идентифицированной ориентировкой кристалла, в которых показатель достоверности (Confidence Index) составлял $\leq 0,1$, были обозначены чёрным цветом. НП – направление прокатки

Для исследования текстуры материала были построены функции распределения ориентировок (рис. 2). Прокатка сплава ожидается приводит к текстуре Куба $\{001\}\langle 100 \rangle$ с небольшой остротой. При $\varphi_2 = 45^\circ$ обнаруживается текстура преимущественно переходная, но также определяются компоненты Латунни и S невысокой интенсивности. Последующая закалка сплава приводит к размытию текстуры Куба, значительно увеличивает остроту текстуры Латунни и S.

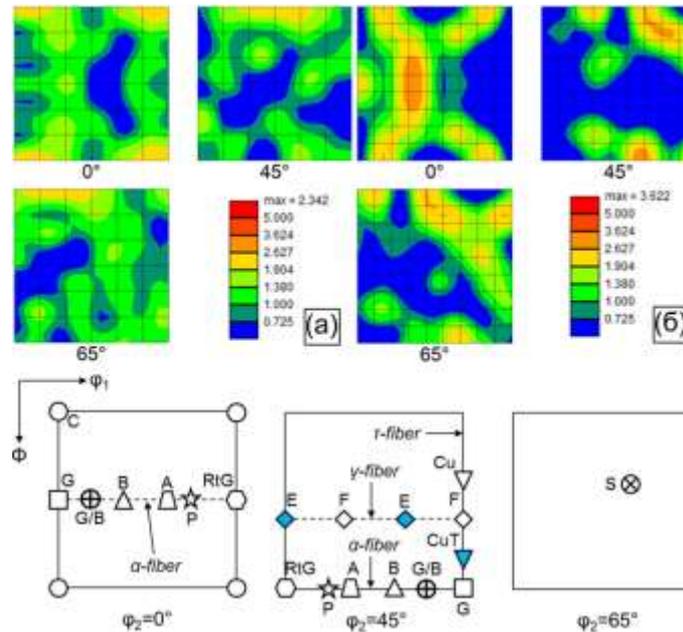


Рис. 2. Функции распределения ориентировок Al-Cu-Li сплава после горячей прокатки а) и закалки б). Схема расположения компонент в ГЦК-металлах в пространстве Эйлера. Компонента, символ: С – куб, Cu – медь, G – Госс, В – Латунь

Общая интенсивность всех текстурных компонент как после прокатки, так и после закалки не превышает значения 4. Это даёт основание полагать, что анизотропия, связанная с текстурой деформации в этих состояниях, будет низкая, а общая анизотропия будет связана с выделением упрочняющих частиц и будет проявляться после конечной обработки (т. е. старения). Для численной оценки величины анизотропии предполагается вырезать и испытать образцы в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, код научной темы FZWG-2023-0005. Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Технологии и Материалы НИУ «БелГУ».

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗИФИЦИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ

Мухаметшина Е.С.¹, Малышев А.В.²

¹ФГБОУ ВО «КГЭУ», доцент кафедры «Материаловедение и технологии материалов»,
e-mail: ielnara@mail.ru

²ФГБОУ ВО «КГЭУ», студенты группы МТЭ-1-23

Представлено научное обоснование выбора материалов для изготовления газифицируемых моделей (ГМ) в технологии литья по выжигаемым моделям (ЛГМ). С целью энергоресурсосбережения предложено использовать вспененный полистирол марки ПСВ-Л1С. Данная технология позволяет сократить количество операций и снизить трудоемкость процесса по сравнению с традиционным литьем по выплавляемым моделям. Показана необходимость применения противопопригарных покрытий для предотвращения дефектов на отливках из нержавеющей стали. Проведен сравнительный анализ различных покрытий, обоснован выбор быстросохнущего противопопригарного покрытия ППУ-1. Рассмотрены вопросы импортозамещения материалов, используемых в ЛГМ.

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) представляет собой перспективную технологию изготовления сложных отливок, отличающуюся низкими энергозатратами и себестоимостью. Основой метода является использование газифицируемых моделей из вспененного полистирола, которые замещаются расплавленным металлом в песчаных формах. Данный подход позволяет получить точные отливки, минимизировать количество технологических операций и снизить материальные затраты.

Однако при работе с легированными сталями возникают специфические дефекты, связанные с повышенным давлением продуктов газификации модели. Это требует тщательного выбора материалов модели и вспомогательных компонентов, таких как противопопригарные покрытия.

В производстве газифицируемых моделей применяются различные марки пенополистирола и сополимеров [1]. Основными требованиями к материалам являются [3]:

- Плотность и технологическая прочность. Материал должен сохранять форму и размеры модели в процессе изготовления и формовки. Для пенополистиролов оптимальная плотность составляет 20–30 кг/м³ при прочности 0,1–0,2 МПа.
- Стабильная усадка. Материал должен иметь минимальную и стабильную усадку (0,15–0,2 %) для сохранения геометрической точности.
- Высокая скорость газификации. Это позволяет расплаву заполнять полость формы до начала его затвердевания.

Одним из лидеров рынка материалов для ЛГМ был японский сополимер Clearot CL500A (70 % полиметилметакрилата и 30 % полистирола) [4]. Он обеспечивал высокие свойства пиролиза, минимальное выделение вредных газов и отсутствие углеродных дефектов на отливках. Однако в условиях санкционных ограничений поставка данного материала в Россию прекращена.

В качестве альтернативы российские производители предлагают вспененный полистирол марки ПСВ-Л1С, обладающий повышенной прочностью и высокой скоростью газификации. Полистирол ПСВ-Л1С рекомендован для изготовления моделей при литье стальных отливок.

Применение противопопригарных покрытий является важным этапом технологии ЛГМ. Они выполняют две основные функции:

1. Защита поверхности отливки от пригара.
2. Предотвращение образования грубой поверхности из-за неравномерного уплотнения песчаной смеси.

Требования к покрытиям [5]:

- Высокая газопроницаемость.
- Хорошая адгезия к поверхности модели.
- Быстрое высыхание.
- Высокая термическая и механическая прочность.

На российском рынке предлагается покрытие ППУ-1, разработанное предприятием «Инновационные литейные материалы» (г. Челябинск). Покрытие отличается высокой газопроницаемостью, устойчивостью к термическим нагрузкам до 1600 °С и экологической безопасностью. Оно подходит для нанесения на полистирольные модели методом кистевого обмазывания, окунания или полива.

Преимущества ППУ-1 включают:

- Быстрое высыхание (30–40 минут при температуре выше 30 °С).
- Образование ровного слоя без дефектов.
- Высокая адгезия и прочность покрытия [2].

Для анализа материалов были сопоставлены ключевые характеристики пенополистирола ПСВ-Л1С (табл. 1) и сополимера Clearor CL500A (табл. 2). Несмотря на преимущество Clearor в отсутствии жидкой фазы при пиролизе, полистирол ПСВ-Л1С обеспечивает достаточное качество отливок при соблюдении технологических параметров.

Таблица 1

Основные свойства полистирола ПСВ-Л1С

Показатели	ПСВ-Л1С
Внешний вид	полупрозрачный
Содержание остаточного мономера, %	0,3
Содержание порообразователя, %	5,5–6,6
Относительная вязкость в 1 % растворе бензола	1,8
Гранулометрический состав, мм	0,4–0,63
Насыпная масса вспененных гранул, г/л	20
Слипаемость гранул по классам 0,1,2,3	0–1
Скорость газификации при температуре 900 °С	9,0–10 ³
Скорость плавления при температуре 900 °С	2
Содержание активного кислорода, %	0,03

Таблица 2

Свойства сополимера Clearor CL500A

Показатели	CL500A
Гранулометрический состав, мм	0,50–0,43
Содержание полиметилметакрилата, %	70
Содержание полистирола, %	30
Температура стеклования полиметилметакрилата, °С	100
Температура стеклования полистирола, °С	81
Объемная плотность после вспенивания, кг/м ³	20

Противопожарное покрытие ППУ-1 сравнивалось с зарубежным аналогом Polytop FS 3 (ASK Chemicals). По основным характеристикам, включая газопроницаемость, термостойкость и качество поверхности, покрытия сопоставимы.

В условиях импортозамещения использование отечественных материалов, таких как полистирол ПСВ-Л1С и покрытие ППУ-1, является оптимальным решением для технологии

ЛГМ. Эти материалы обеспечивают необходимое качество отливок и соответствуют современным экологическим требованиям. Перспективы дальнейших исследований включают оптимизацию технологических параметров процесса и разработку новых рецептур для улучшения свойств применяемых материалов.

Список литературы

1. ОСТ 301-05-202-92Е. Полистирол вспенивающийся. Технические условия. – Введ. 1992-01-06. – М.: Изд-во стандартов, 2002.
2. Инновационные литейные материалы [Электронный ресурс]. – URL: <http://litlgm.ru/fizicheskie-svoystva-ppu-1> (дата обращения: 18.11.2024).
3. Шуляк В.С. Литьё по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
4. Леонтиев М.В. Литейный сополимер CLEARPOR для технологии литья по газифицируемым моделям // ИТБ «Литьё Украины». – 2008. – № 3. – URL: <http://lityo.com.ua/stati/litejnyj-sopolimer-clearpor-dlya-tekhnologii-litya-po-gazifitsiruемым-modelyam> (дата обращения: 18.11.2024).
5. Дорошенко В.С., Бердыев К.Х. Газодинамический баланс в песчаной форме при литье по газифицируемым моделям // Литье Украины. – 2016. – № 4. – С. 20–24.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ОБРАЗЦЕ ИНКОНЕЛЬ 625, ПОЛУЧЕННЫМ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЕВАМ

Овчаренко В.А.¹, Бабаев А.С.^{2, 3}, Семёнов А.Р.³

¹*НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант,
e-mail: vag14@tpu.ru*

²*Томский государственный университет, старший научный сотрудник,
e-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru*

³*Томский государственный университет, аспирант,
e-mail: artems2102@yandex.ru*

Большой интерес в области аддитивного металлического производства направлен на технологии, которые в качестве сырья применяют проволоку, что значительно удешевляет производство. В качестве источника энергии могут быть применены электрическая дуга (WAAM) [1], лазер (LMD-W), электронный луч (ЕВАМ) [2]. Целью данной работы является изучение структуры и механических свойства образца из инконель 625, полученного по технологии прямого сплавления проволоки электронным лучом (ЕВАМ).

Печать заготовки, рис. 1, осуществлялась с помощью электронно-лучевой установки на базе ИФПМ СО РАН, проволокой марки OKAutrodNiCrMo-3, Ø1,2 мм, химический состав приведен в табл. 1 Печать производилась при ускоряющем напряжении 30 кВ и токе луча 60 мА. Сфокусированный луч перемещался по круговой развертке диаметром 6 мм, скорость печати 300 мм/мин.



Рис. 1. Образец, полученный по аддитивной технологии ЕВАМ

Таблица 1

Химический состав

Объект исследования и требования по стандарту	Массовая доля элементов, %										
	C	SI	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	Fe	Nb+Ta
проволока	<0,1	<0,5	<0,5	21,5	9,0	>60	<0,4	<0,5	<0,4	<2,0	3,7
образец	<0,1	0,3	0,3	21,5	9	63,5	0,4	–	0,43	0,47	3,7
ГОСТ 5632	<0,1	<0,5	<0,5	20–23	8,0–10,0	>58	<0,4	–	<0,4	<5,0	3,15–4,15

Химический состав полученного образца не имеет отклонений от химического состава исходного материала.

Образцы для механических испытаний и исследования микроструктуры были вырезаны из центральной части заготовки на электроэрозионном станке, что позволяет не допустить нагрев металла в зоне резки. В результате были получены образцы в плоскостях ZOХ (продольное сечение), ZOУ (поперечное сечение). Подготовка поверхности образцов для исследования микроструктуры осуществлялась с применением алмазных паст. Неметаллические включения были рассмотрены на полированной поверхности образца, в образце присутствует микропористость. Инконель относится к однофазным сплавам, при идеальном качестве металла на травленной поверхности, структура выглядит однородной, видны границы зерен [3].

В полученном образце, рис. 2, визуализируются слои с различной микроструктурой, формирующейся в связи с разной скоростью охлаждения. В общем, структура образца дендритная, и чем выше скорость охлаждения, тем меньше размер образовавшихся дендритов, что соответствует зонам металла сформированных слоев. В переходных зонах, а также в зонах сплавления слоев проволоки, визуализируется столбчатая структура, что объясняется повторным тепловым воздействием на уже закристаллизовавшийся металл. Такое расслоение по структуре в образце приводит к неоднородности механических свойств в объеме образца, что подтверждают результаты замеров твердости, которые варьируются от 200–246 HV в областях сплавления (•) и зонах основного металла (*) соответственно

Относительное удлинение не является структурно-чувствительной характеристикой, и остается в пределе нормальных значений. Предел текучести напрямую зависит от однородности структуры и размера зерна, что объясняет низкие значения и большой доверительный интервал предела текучести по результатам испытаний, табл. 2.

Таблица 2

Результаты механических испытаний образцов

	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение, %
ZOY	640±20	144± 14	56 ± 3
ZOX	647± 80	171± 5	61± 3

Заключение

Проведена работа по изучению микроструктуры и механических свойств образцов инконель 625, полученных по технологии EBAM. Формирующаяся в процессе печати слоистая структурная неоднородность приводит к низким значениям предела текучести и предела прочности. Результаты измерения микротвердости изменяются в пределах 20 %. Для корректировки характеристик образца планируется проведение термической обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №23-79-10166 (<https://rscf.ru/en/project/23-79-10166>).

Список литературы

1. Мартюшев Н.В., Козлов В.Н., Ци М., Багинский А.Г., Хань Ц., Бовкун А.С. Фрезерование заготовок из мартенситной стали 40X13, полученных с помощью аддитивных технологий – Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 74–89. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.4-74-892.
2. Фёдоров В.В., Рыгин А.В., Клименов В.А., Мартюшев Н.В., Клопотов А.А., Стрелкова И.Л., Матрёнин С.В., Батрагин А.В., Дерюшева В.Н. Структурные и механические свойства нержавеющей стали, сформированной в условиях послойного сплавления проволоки электронным лучом – Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 111–124. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-111-124.
3. Klemm, Daniel & Beermann, Lucas & Awd, Mustafa & Walther, Frank. Mechanical and Microstructural Characterization of Arc-Welded Inconel 625 Alloy – *Materials*. – 2019. – 12. – 3690. – DOI: 10.3390/ma12223690.



Рис.2. Микроструктура образца сечение ZOX

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Лю Синьей студент группы 154Б12,
Илела А.Э., к.т.н., доцент ОМ ИШНПТ
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Тел. +79131035945
e-mail: 10detahy@tpu.ru

Введение. Алюмомагниева шпинель ($MgAl_2O_4$) обладает прекрасными химическими, термическими, диэлектрическими, механическими и оптическими свойствами и представляет собой материал с кубической кристаллической структурой [1, 2]. В качестве керамического материала ее можно использовать в электронных устройствах, оптических устройствах, медицине и других областях. Сегодня алюмомагниева шпинель ($MgAl_2O_4$) стала одним из незаменимых и важных материалов в современной технике и науке [3, 4]. В связи с этим поиск недорогих и несложных в аппаратурном исполнении методов синтеза порошков шпинели является актуальной задачей.

В нашей работе нанопорошки получали с помощью установки Nano Spray Dryer B-90. Нано-распылительная сушилка была разработана для получения частиц размером от 300 нм до 10 мкм из суспензий.

Цель работ – синтез порошков алюмомагниево шпинели из суспензий гидроксидов различными способами и исследование их свойств.

Экспериментальные методики. В качестве исходных компонентов были использованы $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ и $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Далее из них были получены 0,5 М растворы солей алюминия и магния, используемые в качестве прекурсоров. Данные составы выдерживали в течение суток и затем смешивали в нужных пропорциях $[Al^{3+}] : [Mg^{2+}] = 80 : 20$. Все растворы готовили с использованием дистиллированной воды. Суспензию оксидов и гидроксидов получали методом обратного осаждения путем добавления соли к раствору аммиака (NH_4OH). После чего получали были получены порошки $MgAl_2O_4$ методами фильтрации (Ф), микроволнового синтеза (СВЧ) и нанораспылительной сушки (НРС) на установке Nano Spray Dryer B-90 (Швейцария).

Результаты и обсуждение. На рис. 1, а показан внешний вид синтезированных порошков $MgAl_2O_4$. В каждой пробирке размещали по 0,5 г порошка и оценена высота столба, занимаемого порошком.

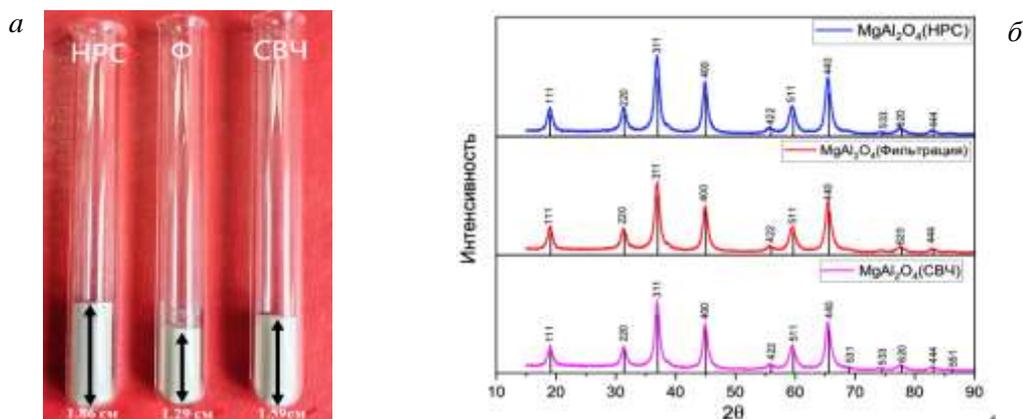


Рис. 1. (а) Порошки $m = 0,5$ гр; (б) дифрактограммы порошков $MgAl_2O_4$ после отжига при $900\text{ }^\circ\text{C}$

Пробирка с порошком, полученным НРС, имеет самую большую высоту, соответственно, самые мелкие размеры частиц и большую удельную поверхность. Самый крупный размер частиц, согласно фотографии, должен наблюдаться для порошка, выделенного фильтрацией. После отжига видно (табл. 1), что закономерность, предварительно установленная по измерению столбиков, сохраняется: значения удельной поверхности меняются в ряду НРС > СВЧ > Ф.

В табл.1 приведены результаты РФА порошков, полученных на установке распылительной сушки, методом фильтрации и СВЧ. Из таблицы видно, что использование трёх разных методов показало различия в размерах ОКР порошков. Методы нанораспылительной и СВЧ сушки обеспечивают меньшее значение ОКР по сравнению с фильтрацией.

Таблица 1

Результаты БЭТ и РФА анализ $MgAl_2O_4$

Метод	Суд, м ² /г	Т, °С	Фазовый состав, %	ОКР, нм
НРС	120,92 ± 0,44	900	$MgAl_2O_4$ – 100	14,42
Фильтрация	101,05 ± 5,51	900	$MgAl_2O_4$ – 100	11,81
СВЧ	115,61 ± 0,79	900	$MgAl_2O_4$ – 100	11,82

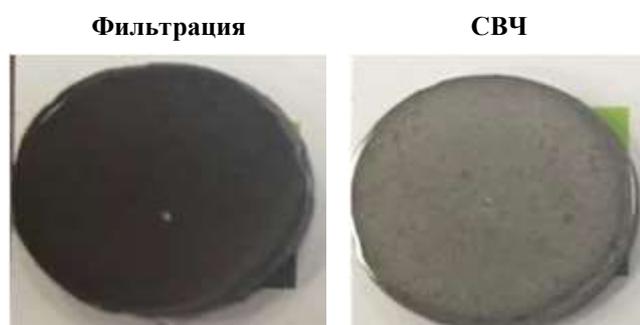


Рис. 2. Керамика $MgAl_2O_4$, с помощью методом SPS

Из синтезированных порошков была получена керамика методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС). На рис. 2 показана керамика $MgAl_2O_4$, полученная из порошков СВЧ и синтезированного методом фильтрации. Керамика, полученная методом ЭИПС при температуре 1200 °С характеризуется фазами шпинели и $\alpha-Al_2O_3$, плотность составляет 3,31 и 3,67 г/см³, соответственно.

Таким образом, керамика, синтезированная из порошка, полученного методом фильтрации, обладает большей плотностью.

Заключение

В рамках работы разными методами были синтезированы нанопорошки $MgAl_2O_4$, сделаны следующие выводы:

1. Удельная поверхность частиц, полученных нанораспылительной сушкой, фильтрацией и СВЧ составляет 121, 101 и 116 м²/г, соответственно.
2. РФА анализ порошков, полученных каждым из представленных методов, показал, что при температурах 900 °С фазовый состав характеризуется только фазой шпинели. Рассчитанные размеры ОКР, порошков, полученных нанораспылительной сушкой, фильтрацией и СВЧ составляет 11,81, 14,42, 11,83 нм, соответственно.

Список литературы

1. Wenyu Zan, Beiyue Ma, Yutong Cao, Jialong Tian, Zhangyan Zhou, Lulu Wang, Zhouhua Jiang. Preparation and performance optimization of MgAlO spinel materials by single-step reaction sintering // *Ceramics International*. – 2023. – Vol. 49(14 A). – P. 23567–23578.
2. Salema A., Motevalian. The Low Temperature Synthesis of Nanocrystalline $MgAl_2O_4$ Spinel by Modified Sol-gel // *Наноматериалы*. – 2014. – С. 22–24.
3. Li H., Wei H.Y., Cui Y., Sang R.L. Bu J.L., Wei Y.N. Synthesis and characterization of $MgAl_2O_4$ spinel nanopowders via nonhydrolytic sol-gel-route // *Journal of the Ceramic Society of Japan*. –2017. –Vol. 125(3). – С. 100–104.
4. Dash S., Rakesh K.S., Das A., Shubhra B. Synthesis of $MgAl_2O_4$ spinel by thermal plasma and its synergetic structural study // *Journal of Alloys and Compounds*. –2017. – Vol. 726. – С. 108–113.

THE EFFECT OF ZIRCONIUM TUNGSTATE (ZT) PARTICLES ON THE STRUCTURE AND TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF POLYETHERIMIDE/POLYTETRAFLUOROETHYLENE MATRIX COMPOSITES

He C.J.¹, Buslovich D.G.², Tarasov S.Yu.², Panin. S.V.^{1,2}

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk

² Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk,

e-mail: Chanczyun1@tpu.ru

Polyetherimide (PEI) is a transparent amorphous material with high strength and stiffness. It is resistant to long-term use temperature exposures up to 170 °C [1]. As one of the high-performance engineering polymers, polyetherimide (PEI) is characterized by high thermal stability and outstanding mechanical properties, making it suitable for demanding applications such as structural parts of airliners' nacelles and handles of medical devices, etc.[2].

Compared with metals or ceramics, neat PEI cannot meet the requirements of high wear resistance in many situations. The incorporation of solid lubricants such as polytetrafluoroethylene (PTFE) powder can improve the tribological properties of the neat polymer. PTFE is capable of forming a self-lubrication tribochemical films which reduces the coefficient of friction and wear rate of the composite on the friction interface [3].

However, especially when sliding at high temperatures, the difference in the coefficients of thermal expansion of PTFE and PEI may affect the stability of the film. By blending with Negative Thermal Expansion (NTE) particles with PTFE, the loss of bonding of PTFE to the matrix due to differences in thermal expansion can be minimized. These NTE particles can also be used to reinforce transfer films.

In this work, PTFE particles and zirconium tungstate particles with negative coefficient of thermal expansion were introduced into PEI matrix to enhance the tribological properties. The introduction of zirconium tungstate particles helps PTFE to form a stable self-lubrication tribochemical film.

The source materials were used such as polyetherimide (PEI) powders with the mean particle size of 16µm ('Solver PEI ROOH'grades, Solver, Jiande, China), Fluralit' PTFE powder ('Fluralit synthesis' LLC, Russia) with the mean particle size < 3µm produced via thermal decomposition of the 'F-4' fluoroplastic, and micron-sized ZrW₂O₈ powder manufactured using thermal decomposition ($T = 570^{\circ}\text{C}$) of the ZrW₂O₇(OH)₂·2H₂O precursor, which in turn was synthesized using the hydrothermal conditions at the Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

Tribological properties of composites were tested on the high-temperature tribo-tester 'THT-S-BE-0000' tribometer (CSEM, Neuchâtel, Switzerland) according to the 'ball-on-disk' scheme. The sliding velocity was 0.3 m/s, the load on the sample was 5 N. The sliding distance was 1000 m. The wear track radius was 8 mm. The Ø6mm ball had the surface roughness Ra=0.02µm and was made of the standard quenched and tempered AISI 52100 (GCr15) bearing steel with hardness of 60 HRC. The surface morphology of the specimens after friction testing is analyzed using an Alpha-Step IQ stylus profilometer.

As shown in Figure 1, the composite PEI/10PTFE has the lowest CoF and WR at $T = 23^{\circ}\text{C}$. When the test temperature was raised up to 120°C, the CoF and WR of the composite increased. However, the CoF for sliding friction was lower than that obtained when tested at 180°C. The introduction of 0.5 wt % ZT at 23 °C increased the CoF and WR by a factor of 2.3 and 1.5, respectively. Because of the low level of thermal expansion at this temperature, the effect of ZT is not significant.

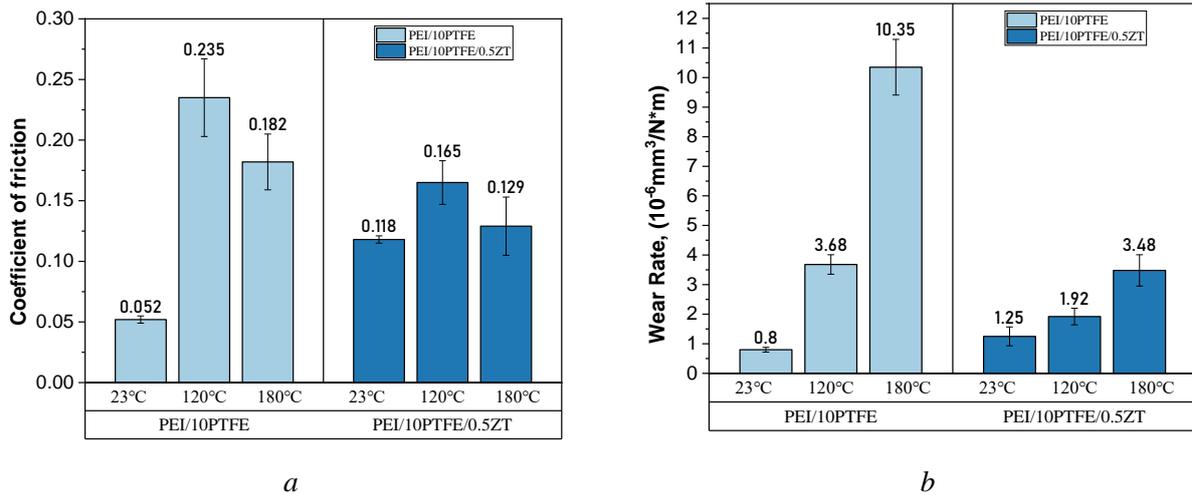


Fig. 1. Tribological properties of PEI/PTFE composites before and after introduction of ZT:
a – Friction coefficient; b – Wear rate

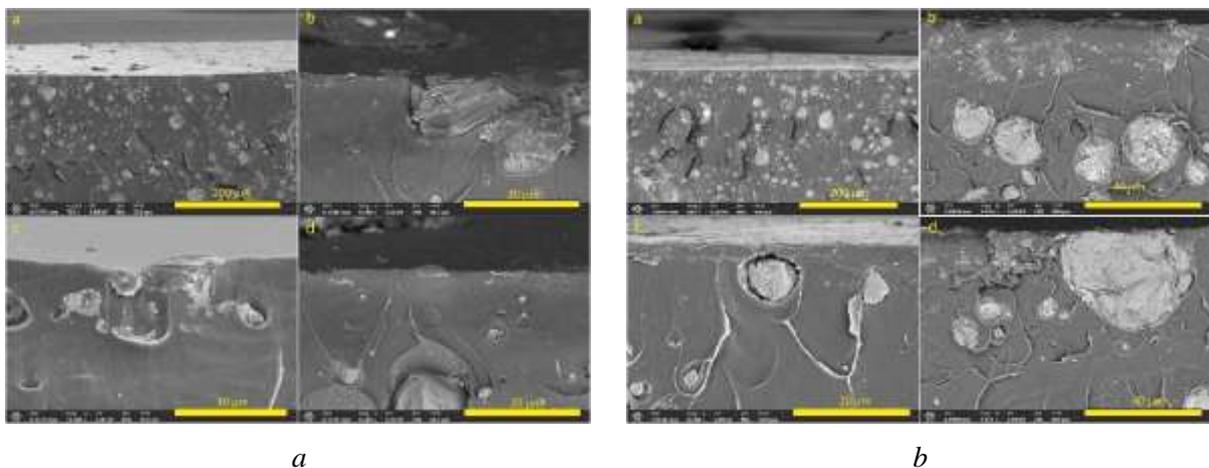


Fig. 2. SEM images of structures below the worn surface of two composites composite at 180 °C:
a – PEI/PTFE; b – PEI/PTFE/ZT

The effect of thermal expansion increases as the test temperature increases. As shown in Fig. 2, the thermal expansion effect has affected the structure of the composite PEI/PTFE at the test condition of 180°C. Due to the different coefficients of thermal expansion of the matrix and PTFE, a significant cavity at the PTFE boundary can be observed (Fig. 2, a). The introduction of ZT, however, significantly mitigated the effect of thermal expansion on its structure, and a significant reduction in the volume of the cavities around the PTFE particles can be observed (Fig. 2, b). This ensured the stable formation of self-lubricating chemical friction film at high temperatures, and accordingly, the introduction of ZT reduced the wear rate of the composite by a factor of 3 at 180 °C.

References

1. Laurence W.M., Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers (Second Edition) // William Andrew Publishing. – 2008. – № 5. – P. 213–241.
2. Chang L., Zhang Z., Zhang H., Friedrich K. Effect of nanoparticles on the tribological behaviour of short carbon fibre reinforced poly(etherimide) composites // Tribology International. – 2005 – Vol. 38. – P. 966–973.
3. Kathryn L.H., Angela A.P. PTFE Tribology and the Role of Mechanochemistry in the Development of Protective Surface Films // Macromolecules. – 2015. – № 48. – P 339–374.

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Фу Цзиньюй, магистрант группы 4БМ32,
Илела А.Э., к.т.н., доцент ОМ ИШНПТ
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел. +79131035945
e-mail: fc01@tpu.ru

Введение. Оксид алюминия является наиболее важным керамическим материалом благодаря своим превосходным свойствам, таким как химическая и термическая стабильность, и высоким механическим свойствам, таким как прочность, твердость и износостойкость. Материал на основе Al_2O_3 отличается высокой коррозионной стойкостью, устойчив к воздействию большинства органических и неорганических кислот и солей. Основные области его применения – машиностроение, медицина, электротехника, авиационная и космическая промышленность [1, 2]. Al_2O_3 имеет несколько кристаллических модификаций [3]: α -, β - и γ -модификации глинозема, причем α - и γ - Al_2O_3 представляют собой чистый оксид алюминия, а β -модификация – соединение оксида алюминия со щелочными и щелочноземельными оксидами. Кубический γ - и гексагональный β - Al_2O_3 являются нестабильными модификациями, которые при нагреве свыше $1500\text{ }^\circ\text{C}$ переходят в α - Al_2O_3 [4].

Химический метод синтеза нанокристаллических оксидных порошков позволяет в широких пределах варьировать морфологию, кристаллическую структуру и, в случае многокомпонентных систем, химический состав получаемых частиц. Наряду с преимуществами эти методы имеют ограничения: порошки имеют высокую степень агрегации и агломерации продуктов осаждения и прокаливания осадков, а также широкий спектр размеров, как первичных частиц, так и агломератов.

В нашей работе нанопорошки получали с помощью установки Nano Spray Dryer B-90. Нано-распылительная сушилка B-90 была разработана для получения частиц размером от 300 нм до 10 мкм из растворов или суспензий, путем высушивания или инкапсулирования с выходом до 90 %. Размер частиц на выходе зависит в основном от выбранного распылительного сопла.

Целью работы получить порошки оксида алюминия разными способами и оценить влияние метода синтеза на их свойства.

Экспериментальные методики. Для подготовки растворов оксида алюминия использовали азотнокислый алюминий $Al(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (Ч). Нанопорошок Al_2O_3 получали с помощью обратного осаждения используя аммиак (NH_4OH) (ЧДА). При добавлении раствора 1М $Al(NO_3)_3$ в аммиак согласно методу обратного осаждения частицы, выпадали в осадок, который промывали дистиллированной водой до установления нейтрального значения $pH = 7$.

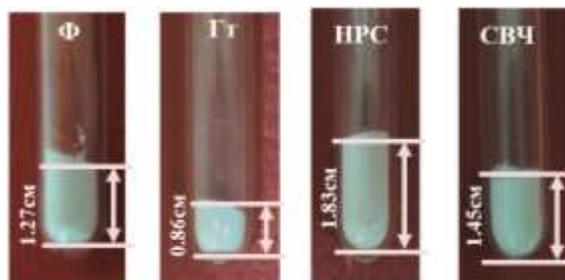


Рис. 1. Порошки $m = 0.59\text{ г}$ до отжига, разными способами

Результаты и обсуждение. Выделение порошков из суспензий проводили 4 способами: Фильтрация (Ф), гидротермальным (ГТ), нанораспылительной суши (НРС) и СВЧ-Сушка. На рис. 1 представлены фотографии порошков одной массы в пробирках одинакового объема до термообработки. Как видно из рисунка, насыпная плотность порошка, полученного мето-

дом распыления, ниже, чем при использовании других методов, а у порошка, полученного гидротермальным способом, самая высокая, поскольку в работе используются одинаковые емкости, поэтому можно сказать, что наночастицы, полученные гидротермальным методом, обладают наибольшей плотностью и наибольшим удельным весом.

На рис. 2 приведены электронные изображения порошков, выделенных из суспензии методом фильтрации и распылительной сушкой. Порошок, выделяемый с помощью установки Nano Spray Dryer, представляет собой сферические частицы из скрепленных между собой кристаллитов. В то время как, порошок, выделяемый фильтрацией, представляет собой агрегаты размерами от 0,2 до 10 мкм.

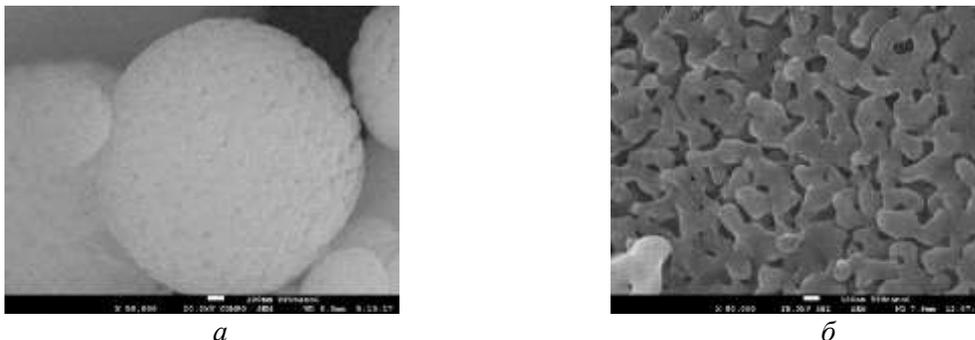


Рис. 2. РЭМ-изображения порошков оксида алюминия, выделенных из суспензии $Al(NO_3)_3$ распылительной сушкой (а) и фильтрацией (б)

Таблица 1

Размер ОКР и удельной поверхности $\alpha - Al_2O_3$

Метод выделения нанопорошка	Размер ОКР	$S_{уд}, м^2$
Распылительная сушка	86 нм	$14,8 \pm 0,11$
Фильтрация	98 нм	$6,5 \pm 0,03$
Гидротермальным	90 нм	$5,7 \pm 0,15$
СВЧ	89 нм	$7,6 \pm 0,04$

Заключение

В рамках работы были синтезированы нанопорошки на основе оксида алюминия для использования в различных областях, сделаны следующие выводы:

1. Удельная поверхность для частиц Al_2O_3 ОНРС, Al_2O_3 Ф, Al_2O_3 ГТ, Al_2O_3 СВЧ, составляет 14,8, 6,5, 5,7, 7,6 $м^2/г$, соответственно.

2. Рассчитанные размеры ОКР, порошки Al_2O_3 ОНРС, Al_2O_3 Ф, Al_2O_3 ГТ, Al_2O_3 СВЧ составляет 86, 73, 90, 85 нм, соответственно. Нанопорошки, полученные методом нанораспылительной сушки имеют самые мелкие размеры кристаллитов. Самые крупные размеры ОКР наблюдаются для порошков, выделенных фильтрацией.

Список литературы

- Bai J., Yang X., Xu S. Fabrication of highly dense Al_2O_3 ceramics // Scripta Materialia – 2013. – Vol. 68 (6). – P. 393–395.
- Saengkhwamsang P., Pimanpaeng S., Amornkitbamrung V., Maensiri S. Synthesis and characterization of Al_2O_3 nanopowders by a simple chitosan-polymer complex solution route // Ceramic International. – 2024. – Vol. 40. – P. 5137–5143.
- Liu J., Liu C., Ma A., Rong J. Effects of Al_2O_3 phase and Cl component on dehydrogenation of propane // Applied Surface Science. – 2016. – Vol. 368. – P. 233–240.
- Cava S., Tebcherani S.M., Souza I.A. Structural characterization of phase transition of Al_2O_3 nanopowders obtained by polymeric precursor method // Science Direct: Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 103. – P. 394–399.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ

*Ражабов Х., Колесникова К.А.
НИ ТПУ, e-mail: Kolesnikova_ksal@mail.ru*

Создание износостойких композиционных покрытий «диборид титана-металлическая связка» является перспективной задачей в плане получения оптимального сочетания свойств (высокая твердость, износостойкость, стойкость к ударным нагрузкам) с сохранением указанных характеристик при высоких температурах. Существующая проблема хрупкости таких соединений может быть решена разработкой композиционных материалов на основе пластичных матриц, а также дополнительным введением легирующих элементов, повышающих однородность структуры и технологичность наплавки. Для получения высококачественных покрытий на поверхности деталей большое значение имеют методы, применяемые для их нанесения [1].

Цель настоящей работы- изучение влияния технологических приемов нанесения композиционных покрытий на основе боридов на структуру и трибологические свойства покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой, газотермическим напылением и напылением с последующим оплавлением электронным лучом.

В качестве наносимого материала использовали смесь термореагирующих порошков FeB-FeTi различного гранулометрического состава и смесь композиционных порошков (TiB₂-Fe), полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), с 70 % вес высокохромистого чугуна.

Напыление порошков осуществляли с помощью газопламенного пистолета UNI-SPRAY-JET с использованием ацетилено-кислородной смеси. Наплавку производили на вакуумной установке с помощью электронно-лучевой пушки. Наплавочный материал исследовали с помощью металлографического микроскопа МИМ-9, микротвердомера ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) при нагрузке P = 50 гр. Рентгенофазовый анализ осуществляли на дифрактометре ДРОН-4. Трибологические свойства покрытий исследовали в парах трения по методу «неподвижный индентор из твердого сплава- вращающийся диск» без подачи смазки в зону контакта на машине трения PC-Controlled High Temperature Tribometer ТНТ-S-АХ0000 при нагрузке 10 Н и скоростях скольжения V = 5; 11 см/сек.

Полученные данные металлографического и рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что в покрытиях, полученных многопроходной электронно-лучевой наплавкой термореагирующих порошков (составы 1–2), в приповерхностных зонах сформировались мелкодисперсные бориды TiB, Ti₃B₄; TiB₂ и их конгломераты с твердостью H = 15–25 ГПа. Кроме боридов железа и титана в структуре присутствует фазы α-Fe, Fe₂B и Fe₂Ti, находящиеся в составе эвтектической матрицы в виде эвтектик: Fe₂B-Fe, Fe₂Ti-Fe и TiB₂-Fe. Трибологические испытания показали, что интенсивность изнашивания (I) напыленных покрытий из порошков составов 1–3 на 2–3 порядка выше, чем у покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавкой (табл. 1).

Дополнительное введение 6 % вес бора аморфного в исходную смесь порошков (состав 3) позволило сформировать качественное беспористое покрытие толщиной 5 мм с высокими значениями твердости по глубине слоя (H_μ = 20–25 ГПа) [2]. По данным МРСА, структура поверхностного слоя покрытия представлена, в основном, фазами TiB₂ и TiB размером 5–10 мкм. Твердость поверхностного слоя составила H_μ = 25 ГПа, что определило высокую абразивную износостойкость покрытия (K_и = 7,38) и низкие значения интенсивности изнашивания (I = 2,39; I = 6,34).

Сравнительный анализ структуры и фазового состава покрытий данных составов, полученных газопламенным напылением, показал, что их пористость составила 19–28 %. На границах раздела «покрытие-подложка» наблюдались цепочки пор, что предопределило их низкую адгезионную прочность и частичное отслаивание от подложки. Для всех трех составов рентгенофазовым анализом установлено отсутствие в структуре покрытий высокотвердой фазы TiB_2 , наличие низкобористых фаз TiB , Ti_2B и соединений FeB , $FeTi$. Твердость ($H\mu$) покрытий находилась в пределах 14–20 ГПа.

Таблица 1

Коэффициент трения (f) и интенсивность изнашивания (I , мкм/км) покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой из порошков различного гранулометрического состава

Состав, % вес	f, I	Наплавка		Напыление		Напыление с оплавлением	
		5	11	5	11	5	11
		см/сек	см/сек	см/сек	см/сек	см/сек	см/сек
1) 50 %FeB (200 – 315) + + 50 %FeTi (200 – 315)	$f_{тр}$	0,526	0,395	0,579	0,689	0,544	0,608
	I	2,32	1,45	566	650	31,23	178
2) 50 %FeB (200 – 315) + + 50 %FeTi (50 – 200)	$f_{тр}$	0,515	0,517	0,613	0,656	0,694	0,528
	I	1,61	3,30	1700	2360	235,8	49,38
3) 47 %FeB (125 – 200) + + 47 %FeTi (50 – 200) + 6 %Вам	$f_{тр}$	0,420	0,479	0,324	0,692	0,613	0,571
	I	2,39	6,34	985	2566	221	129
4) 30 %(TiB ₂ – Fe) СВС + 70 % ПГ-УС-25	$f_{тр}$	0,536	0,628	0,245	0,541	0,480	0,305
	I	3,32	12,0	380	1700	4,17	7,04

Напыленные покрытия, дополнительно оплавленные электронным лучом, показали промежуточные значения по твердости ($H\mu$) и трибологическим характеристикам ($f_{тр}$, I) по сравнению с наплавленным и напыленным состоянием, что, вероятно, связано со снижением пористости до 3–5 %, с появлением в структуре покрытий мелкодисперсных диборидов титана TiB_2 наряду с фазами TiB , Ti_2B_5 . Рентгенофазовый анализ выявил также большое количество α -Fe появившегося в результате перемешивания материалов стальной подложки и покрытия при электронно-лучевом оплавлении.

Металлографический и рентгенофазовый анализы структуры покрытия, наплавленного композиционным порошком с 70 вес% ПГ-УС-25 (состав 4), показали, что частицы СВС-композиата (TiB_2 -Fe) активно провзаимодействовали со связкой с образованием в покрытии соединений Fe_2B и TiB , а также двойного борида титана -хрома образовавшегося в результате замещения хромом части титана в соединении TiB_2 . При кристаллизации, по данным МРСА и РФА, в поверхностном слое покрытия сосредоточились кристаллы $(Ti, Cr)B_2$, TiB_2 и карбиды хрома $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , обусловившие высокие значения абразивной износостойкости ($K_n = 7,65$) и трибологических характеристик.

Покрытия, полученные как электронно-лучевой наплавкой, так и по совмещенной технологии, имеют соизмеримые значения коэффициентов трения и интенсивности изнашивания, что объясняется ростом объемной доли карбидных фаз при кристаллизации высокохромистого расплава и наличием первичных и вторичных мелкодисперсных соединений TiB_2 , $(Ti, Cr) B_2$.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что на фазо-структурообразование, распределение упрочняющих фаз значительное влияние оказывает не только способ ввода боридов титана (экзотермические смеси, СВС-композиаты), но и технологии получения композиционных покрытий на их основе. Экспериментально установлено, что представленные в работе покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой, обладают наиболее высокими значениями

ми триботехнических характеристик по сравнению с покрытиями, полученными газопламенным напылением и напылением с последующим оплавлением электронным лучом.

Использованные режимы газопламенного напыления и электронно-лучевого оплавления не позволили полностью реализовать возможности этих методов для получения более качественных покрытий, в связи, с чем предусматривается дальнейшее проведение исследовательских работ по оптимизации вышеуказанных технологических режимов.

Список литературы

1. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование технология, свойства покрытий// Сварочное производство, 2000. – № 2. – С. 34–38.

2. Жаростойкие и теплостойкие покрытия // Труды 4-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям; под ред. Барышникова Л.П., Рейхерт Л.А. – Л: Наука, 1969. – 553 с.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМ $B_{ам}$ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

Сорока М.В., Колесникова К.А.
НИ ТПУ, e-mail: Kolesnikova_ksal@mail.ru

Общеизвестно, что при наплавке качественных плотных покрытий важную роль играет жидкотекучесть формируемого на подложках расплава, которая, в свою очередь, зависит от соотношения в нем твердой и жидкой фаз, их состава и взаимодействия с подложкой.

Металлургическая практика показывает, что на изменение свойства расплава большое влияние оказывает комплексное микролегирование и модифицирование, которые могут нейтрализовать отрицательные действия некоторых вредных примесей и, в целом, изменить структуру и свойства литого материала. Известно влияние бора аморфного на жидкотекучесть многофазных расплавов за счет диспергирования их дендритной структуры. Также известно [1], что в небольших количествах ($3 \div 5$ % вес.) бор аморфный способствует улучшению структуры наплавляемых покрытий благодаря появлению в структуре легкоплавких эвтектик, очень сильно ускоряющих процессы взаимодействия компонентов между собой и на границе с подложкой.

В связи с этим, в работе было исследовано влияние бора аморфного на структуру и свойства наплавленных покрытий. Проведен сравнительный фазоструктурный анализ покрытий, полученных ЭЛН из смеси терморреагирующих порошков $FeB - FeTi$ различного гранулометрического состава до и после легирования бором аморфным. Исследована абразивная износостойкость покрытия.

На рис. 1 представлены микроструктуры покрытий, до и после легирования бором аморфным.

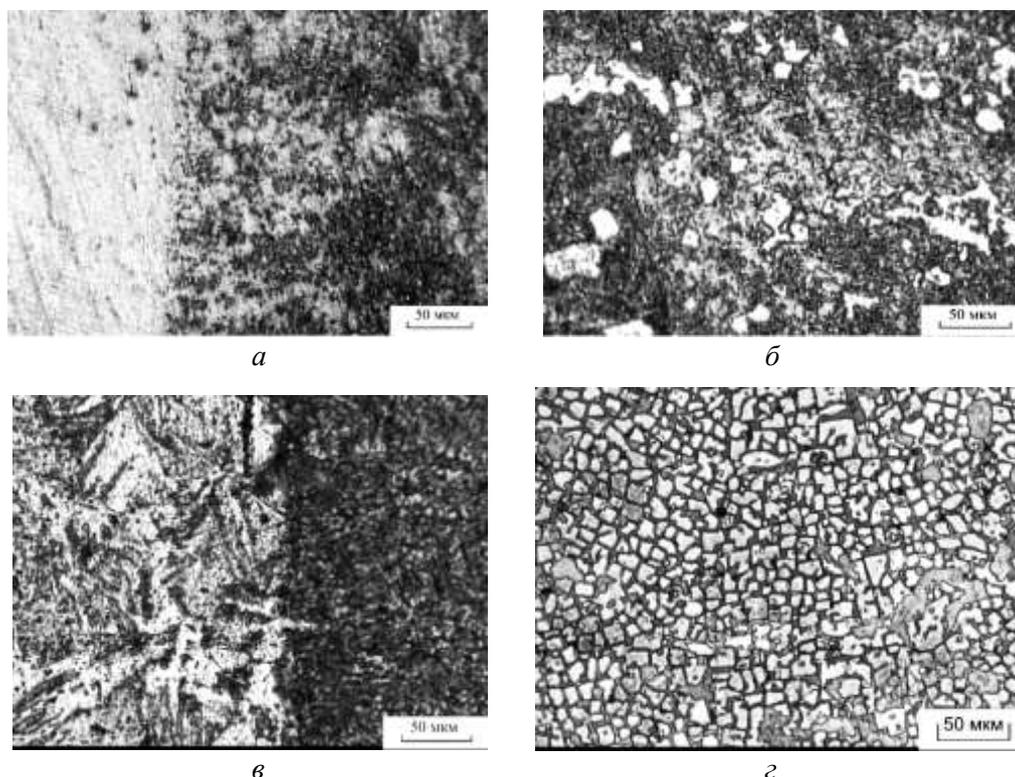


Рис. 1. Микроструктура границ раздела (а, в) и поверхности покрытий (б, г) наплавленных смесью терморреагирующих порошков $FeB(50-125 \text{ мкм}) + FeTi(200-315 \text{ мкм})$; (в, г) – структура покрытия $FeB(125-200 \text{ мкм}) + FeTi(50-200 \text{ мкм}) + 6 \% B_{ам}$

Исследование структуры покрытия, наплавленного смесью порошков состава FeB (50–125 мкм) + FeTi (200–315 мкм) без $V_{ам}$ показало, что в процессе наплавки сформировалась неоднородная структура с низкими значениями микротвердости и абразивного износа $K_H = 3,2$ (рис. 1, а, б).

Из рис. 1 видно, что при наплавке покрытия состава FeB (125–200 мкм) + FeTi (50–200 мкм) + 6 % $V_{ам}$ сформировалась градиентная структура с несколькими зонами, отличающиеся друг от друга фазовым составом и дисперсностью структурных составляющих [2].

Рентгенофазовый анализ показал, что область, прилегающая к переходной зоне, состоит из α Fe и Fe₂V с твердостью $H_{\mu} = 15$ ГПа. Далее сформировалась структура, состоящая из больших белых кристаллов неправильной формы, по составу соответствующих Fe₂V и имеющих микротвердость $H_{\mu} = 14$ ГПа. Темные участки между кристаллами представляют собой твердый раствор α -Fe с частицами боридов титана, что обуславливает их повышенную твердость ($H_{\mu} = 20$ ГПа). МРСА выявил, что в структуре поверхностного слоя покрытия, в основном, присутствуют бориды и дибориды титана размером 5–10 мкм и твердостью $H_{\mu} = 24–30$ ГПа, которые и определили повышение износостойкости наплавленного покрытия до $K_H = 7,38$.

Проведенные в работе исследования показали, что дополнительное введение бора аморфного в состав наплавочной смеси состоящую из терморреагирующих порошков, способствовало формированию более совершенной, беспористой структуры, обладающей высокой микротвердостью и износостойкостью $K_H = 7,38$.

Следует отметить очень хорошую наплавляемость композиционного порошка с участием аморфного бора за счет образования большого количества жидкой фазы.

Выводы

1. Впервые в работе были использованы терморреагирующие порошки системы Ti-B-Fe для создания композиционных износостойких покрытий на основе синтезируемых в процессе электронно-лучевой наплавки боридов титана.

2. Показано положительное влияние $V_{ам}$ на процессы взаимодействия компонентов шихты (FeB + FeTi), что проявилось в образовании в поверхностной зоне покрытий в процессе ЭЛН высокобористых фаз TiB и TiB₂, повысивших твердость и износостойкость покрытий до $K_H = 7,38$.

Список литературы

1. Жаростойкие и теплостойкие покрытия. Труды 4-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям / Под ред. Барышников Л.П., Рейхерт Л.А. – Л: Наука, 1969. – 553 с.
2. Шиленко А.В., Гальченко Н.К., Самарцев В.П. Абразивная износостойкость борсодержащих покрытий полученной электронно-лучевой наплавкой / Тез. III Всероссийская конференция молодых ученых «Физическая мезомеханика материалов» Томск, 2000. – С. 136–137.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДЛИННОМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ

*Марьин С.С.
НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,
e-mail: mss15@tpu.ru*

Объектом исследования является изделие ТАЙФУН, используемое в стальных вертикальных резервуарах для хранения нефти.



Рис. 1. Устройство для размыва и перемешивания донных отложений – ТАЙФУН

Устройством осуществляют размыв и перемешивание донных отложений создаваемой направленной струей жидкости, устанавливаясь на крышку патрубка овального или круглого люк-лаза в первом поясе.



Рис. 2. Стальной вертикальный резервуар

Гребной винт устройства создает узконаправленную затопленную струю нефти, циклически перемещающуюся над днищем резервуара за счет автоматического привода поворота.

Струя размывает и перемешивает парафинистые осадки и механические примеси, которые взвешиваются в общей массе и затем удаляются путем откачивания нефти из резервуара.

Максимальный диаметр гребного винта, 600 мм, вращается с скоростью 690 об/мин.

Устройство при вводе в эксплуатацию должно отвечать требованию по одному из параметров: класс допустимой вибрации.

Со временем в процессе работы устройства вибрации увеличивались, выходя за рамки допустимых значений.

Под подозрение попала входящая в состав устройства деталь – длинномерный вал, который удерживает гребной винт.

Целью исследования причины появления повышенной вибрации, которых не было на начальном этапе.

Изготовить деталь точением на станке токарной группы непростая задача условия чертежа очень жесткие.

По действующему технологическому процессу (в дальнейшем ТП) деталь обрабатывается пооперационно по маршруту обработки детали до полного получения готовой детали:

- отжиг прутка;
- предварительная обработка прутка на станке токарной группы с поджимом задней бабкой и несколькими переустановками люнета на предварительные размеры;
- объёмной термической закалкой;
- следующей операцией происходит обработка вала до чистовых (чертежных) размеров.

При анализе выяснилось, что закалка производится на стороннем производстве в стесненных условиях в печи в горизонтальном положении на подкладках. На выходе из печи имеем прогиб заготовки с-образно.

Далее деталь рихтуют чтобы пройти технологический контроль по параметру отклонение по криволинейности на предприятии. Другими словами, на заготовке имеем односторонний наклеп поверхности.

При обработке детали на станке точением фиксируем переменную нагрузку по шкале нагрузки на ось шпинделя станка. Наклепанная поверхность тверже и перекатываясь эта поверхность влияет на точность формы вала циклически выбирая зазоры системы СПИД станка. По окончании обработки мерительным инструментом фиксируем небольшой эллипс и криволинейность вала по длине.

Со временем работы детали в изделии внутренние напряжения, оставшиеся в детали, пытаются прийти в равновесие искривляя прямолинейность вала изгибая его.

За счет этого появляются растущие вибрации, выходящие за рамки допустимых значений.

Для решения проблемы было предпринято: Пересмотр ТП с заменой объёмной термической обработкой детали на обработку ТВЧ (током высокой частоты) в местах, где это требуется на чертеже указано три места на детали.

При обработке вала точением типовых режущих твердосплавных пластин с защитным покрытием стало недостаточно так как они имеют ограничение по твердости обрабатываемого материала 40 HRC для обработки шеек после обработки ТВЧ так как твердость стала выше пришлось применять дополнительный комплект инструмента режущие пластины из карбида нитрида бора.

Итогом получили отсутствие общего прогиба детали и стабильную работу изделия.

Список литературы

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – С. 512.
2. Жолобов, А.А. Прогнозирование и обеспечение качества технологических систем на этапах их проектирования и изготовления / А.А. Жолобов. – Могилев: Изд-во Белорусско-Российского ун-та, 2005. – 304 с.
3. Пашкевич, В.М. Оптимизация режимов резания на основе использования семантических сетей / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2011. – № 3. – С. 9–12.
4. Пашкевич, В.М. Многофакторная оптимизация параметров механической обработки на основе использования семантических сетей / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 4. – С. 51–61.
5. Резание материалов. Режущий инструмент. В 2 ч. Ч. 1 / С.Н. Григорьев, В.А. Гречишников, Н.А. Чемборисов [и др.]; под общ. ред. Н.А. Чемборисова. – Москва: Юрайт, 2017. – 263 с.
6. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Металлургия, 1978.

АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ПРЯМОХОДНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОВОЙ РАЗРАБОТКИ

*Зонтиков Е.В. НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ33,
e-mail: evz29@tpu.ru, ngc@bk.ru.
Руководитель д.т.н., профессор Ж.Г. Ковалевская*

При опытной эксплуатации разработанного прямоходно-вращательного электропривода задвижки произошло разрушение приводного вала

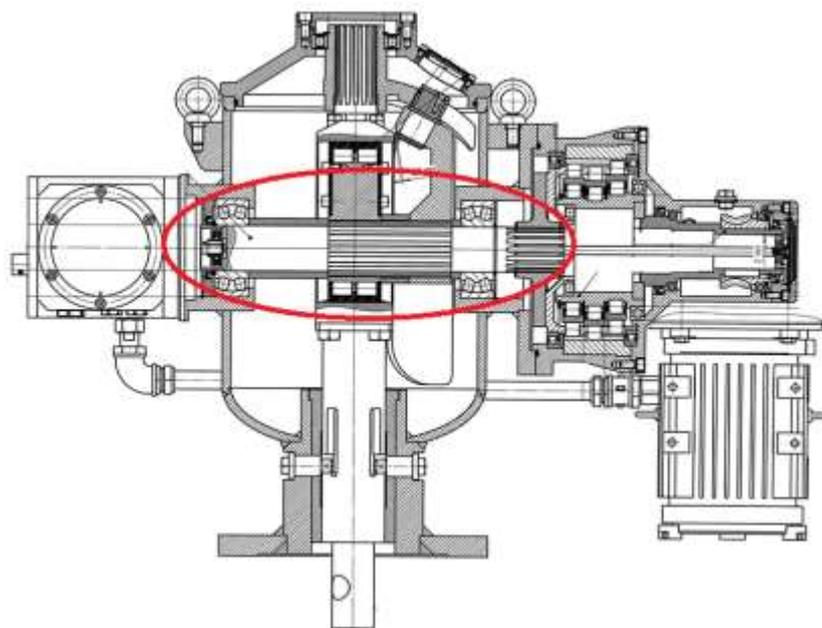


Рис. 1. Электропривод прямоходно-вращательный

Объектом исследования является разрушенный вал прямоходно-вращательного электропривода (сталь 40Х13, 47...51HRC). Целью исследования является анализ излома вала и определение причин разрушения вала.

На рис. 2, а и 2, б изображен излом вала с двух ракурсов. Излом хрупкий, без тянутых участков, зернистость металла не равномерная по внешнему периметру на шлицах мелкозернистая структура, в середине более крупнозернистая, что свидетельствует о возможных нарушениях технологии при термообработке детали. По краям излома также присутствуют потемневшие участки, что свидетельствует о возможных термических трещинах, появившихся во время термообработки.



а



б

Рис. 2. Электропривод прямоходно-вращательный

Далее исследуем конструкцию вала на предмет нагружений и концентраторов напряжений. В программе КОМПАС 3D была построена модель вала с опорами (подшипники в чертеже) и кулачком посередине для имитации работы вала и построения математической модели нагружений и запаса прочности. Затем сборочный узел был импортирован в программу ANSYS, где на узел была приложена нагрузка выходного звена электропривода 360 000 Н. Параметры материала для расчёта были взяты следующие 40X13, 47...51HRC, $\sigma_T = 1390$ МПа $\sigma_B = 1680$ МПа.

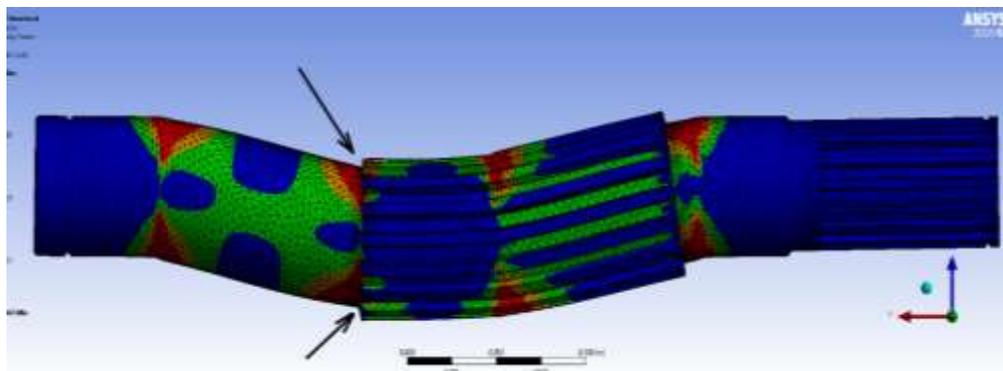


Рис. 3. Модель вала по запасу прочности

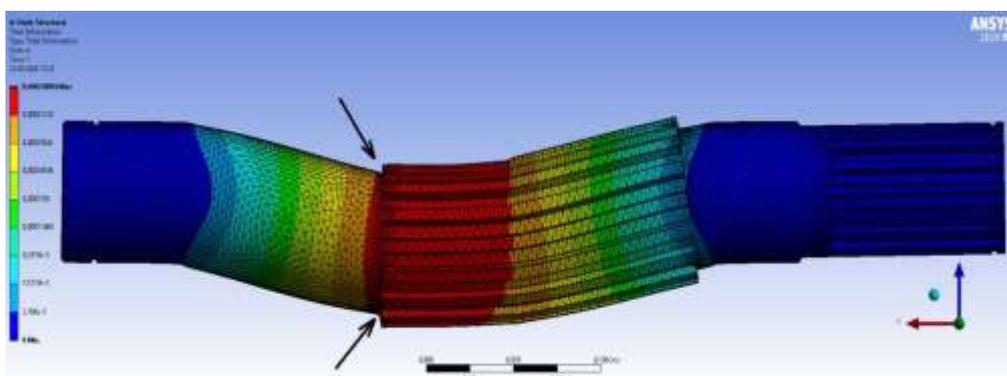


Рис. 4. Модель общей деформации вала

После занесения параметров, расчетов была получена математическая модель нагружения, максимальная деформация вала составила 0,25 мм в месте максимальной концентрации напряжения. Коэффициент запаса прочности материала в местах напряжённости составил 1,135, это чрезвычайно мало для ответственного узла. Самым нагруженным участком с наименьшим запасом прочности является переход шлицевого соединения на гладкий диаметр.

Из всего вышеизложенного можно с большей долей вероятности сказать, что разрушение вала произошло по причине термической операции, выполненной с отклонениями, а также, не совсем удачной конструкции вала, так как переход шлицевого соединения на гладкий диаметр осуществлён без галтели, как следствие разрушение при работе произошло по концентратору напряжений.

Список литературы

1. Ю.П. Егоров, Ю.М. Лозинский, И.А. Хворова // *Материаловедение (Конструкционные, инструментальные и наноматериалы): учебное пособие.* – 3-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 219 с.
2. Гуляев А.П., Гуляев А.А. // *Металловедение: учебник для вузов.* 7-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД Альянс, 2012. – 644 с.
3. Фигер И.В. *Термическая обработка сплавов: справочник.* Л.: Ленинград. Отд., 1982. – 304 с.
4. *Металловедение и термическая обработка стали: справ. изд.* – 3-е изд. перераб. и доп.; под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. – М.: Металлургия, 1983.

ИЗУЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТЕКОЛ ПРОТИВ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ

Турсунханова Р.Б., инженер-исследователь ОМШ, ИШНПТ

Сергеев В.П., д.т.н., профессор ОМШ, ИШНПТ

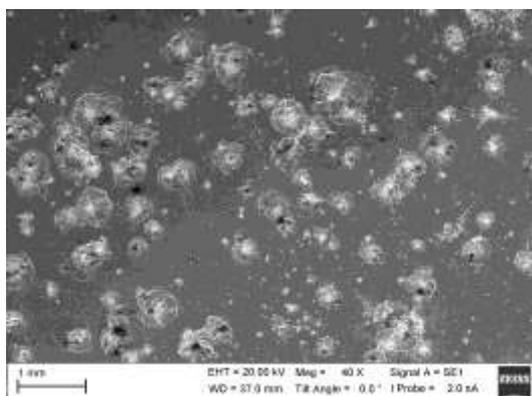
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: rbt1@tpu.ru*

В связи с активным освоением космоса и необходимостью развития техники, способной работать в экстремальных условиях космического пространства актуальной задачей становится разработка новых функциональных материалов и технологий их получения. В процессе эксплуатации космические аппараты подвергаются повреждениям из-за неоднократных столкновений с метеороидами и микроосколками космического мусора [1]. В наибольшей степени от этого страдают различные оптические элементы, такие как стекла иллюминаторов, линзы оптических аппаратов, фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей и другие детали [2]. Вероятность встречи с крупной частицей очень мала, тогда как количество соударений с микрочастицами достаточно велико, так что за несколько лет эксплуатации на поверхности внешних стекол иллюминаторов или солнечных батарей образуется заметная эрозия и, соответственно, потеря оптических (электрических) характеристик.

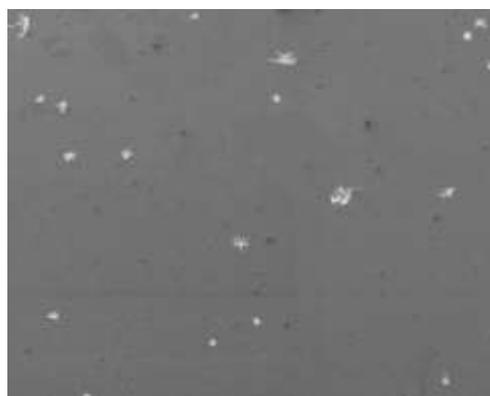
Возможным способом повышения ресурса работы указанных элементов конструкции КА может быть применение новых материалов, обладающих увеличенной стойкостью к ударам высокоскоростных частиц. В связи с этим целью данной работы являлось сравнительное изучение стойкости оптических материалов к ударному воздействию твердых микрочастиц железа.

Исследование механических характеристик проводилось на образцах перспективных оптических материалов, таких как радиационно-стойкие оптические стекла К-208 и лейкосапфир ЛВ. Испытания экспериментальных образцов стекол на ударное воздействие высокоскоростных сферических микрочастиц железа (5–8 км/с) проводили на двухступенчатой легкогазовой пушке МПХ23/8 [3]. Морфология поверхности изучалась с помощью растрового электронного микроскопа. Механические свойства (микротвердость, модуль упругости, предел прочности при центросимметричном изгибе образцов σ_B , а также трещиностойкость материала) определяли с помощью микро(нано)твердомера NanoHardnessTester ННТ–2 и деформационной машины Instron–3369.

Морфология поверхности пластины из радиационно-стойкого оптического стекла К-208 после ударного воздействия высокоскоростного потока микрочастиц железа, наблюдаемая с помощью растрового электронного микроскопа, показана на рис. 1, а.



а



б

Рис. 1. Вид поверхности пластин оптического стекла К-208 (а) и лейкосапфира ЛВ (б) после ударного воздействия высокоскоростного потока железных микрочастиц со средним диаметром ~56 мкм

Видно, что после бомбардировки высокоскоростными частицами железа в количестве, определенном массой разового заряда пушки 60 мг на полированной поверхности стекла образуются многочисленные локальные повреждения в виде кратеров – круговых углублений диаметром от нескольких десятков мкм до нескольких сотен мкм, окруженных многочисленными трещинами. Посредством определения количества кратеров (N), образовавшихся на поверхности образца, деленного на площадь поверхности образца (S), определяем поверхностную плотность кратеров (ρ). Очевидно, величина, обратная ей, будет характеризовать стойкость стекла против ударного воздействия указанного потока высокоскоростных частиц железа. В данном случае для оптического стекла К–208 (ρ) $\approx 25,2 \text{ мм}^{-2}$ (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения поверхностной плотности кратеров ρ , предела прочности при центросимметричном изгибе σ_B , микротвердости H_μ , приведенного модуля упругости E^ и критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC}*

Образец	ρ , мм^{-2}	σ_B , МПа	H_μ , ГПа	E^* , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}
Стекло К-208	$25,2 \pm 5,3$	65 ± 8	$7,9 \pm 0,2$	$80 \pm 9,2$	$0,8 \pm 0,23$
Лейкосапфир ЛС-01	$4,73 \pm 1,8$	820 ± 14	$26,8 \pm 0,6$	402 ± 5	$2,4 \pm 0,26$

На рис. 1 (б) показана морфология поверхности пластины из лейкосапфира, наблюдаемая с помощью растрового электронного микроскопа при том же увеличении, что на рис.1 (а). Обстрел сапфировых образцов высокоскоростными частицами выполнялся по тому же режиму, что и в предыдущем эксперименте для оптического стекла. Видно, что в этом случае поверхностная плотность кратеров значительно меньше в $\sim 4,7$ раза (табл. 1). Определение предела прочности на изгиб образцов из этих материалов, микротвердости их поверхностного слоя, модуля упругости и трещиностойкости показало также значительно большие величины для лейкосапфира. По–видимому, более высокие механические свойства и обуславливают повышение стойкости пластин из лейкосапфира против ударного воздействия исследованного потока высокоскоростных частиц железа.

Таким образом, проведено сравнительное изучение стойкости перспективных оптических материалов (радиационно-стойкое оптическое стекло К–208 и лейкосапфир ЛВ) к ударному воздействию твердых микрочастиц железа, скорость которых находится в интервале 5–8 км/с. Показано, что при одном и том же режиме обстрела пластин высокоскоростными микрочастицами железа лейкосапфир обладает более высокой ударной стойкостью, чем оптическое стекло К–208, что обусловлено его лучшими механическими свойствами.

Исследование выполнено в рамках программ развития Томского политехнического университета.

Список литературы

1. Endo Y., Kojima H., Trivailo P.M. New formulation for evaluating status of space debris capture using tether-net, *Advances in Space Research*. – 2022. –Vol. 70. – P. 2976–3002.
2. Tursunkhanova R.B., Sergeev V.P., Kalashnikov M.P., Sergeev O.V., Stuzhuk V.V., Neufeld V.V. The formation of nanocomposite In-Sn-O coatings on glass to decrease local surface damage under the impact of hyper-velocity particles // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2899. – № 1. – P. 020147.
3. Герасимов А.В., Жалнин Е.В., Христенко Ю.Ф., Калашников М.П., Сергеев В.П. Стенд для исследования высокоскоростного соударения мелких частиц с преградой // Патент РФ на изобретение № 2610790, опубли. Бюл. № 5 от 15.02.2017 г.

АППАРАТУРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Букин А.А.¹, Тимошев П.В.¹, Леонтьев Н.А.¹

Бинчуров А.С.², Гордеев Ю.И.²

¹Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия, e-mail: КОММУНИСТ@bk.ru

²Политехнический институт Сибирский федеральный университет,
Красноярск, доцент каф. КТОМСП
e-mail: mexanix@mail.ru

В современной промышленности активно используются новые композиционные материалы, в том числе углепластиковые и стекловолоконные композиты. Однако, серьезной проблемой, которая ограничивает их эффективное применение, является утилизация отходов изделий из данных материалов. Так, например, углепластики утилизируются методами захоронения или сжигания для получения углеродных нитей и последующего смешивания с цементными смесями [1]. Стекловолоконные композиты, зачастую, просто захораниваются в виду нерациональности методов переработки [2].

В качестве альтернативы утилизации углепластиковых отходов, можно предложить технологию их переработки с дальнейшим вторичным использованием преформ в качестве упрочняющего материала для полимерно-матричных композитов. Аппаратурно-технологическая схема включает в себя следующие основные этапы: дробление-измельчение, смешивание – пластифицирование, сушка-грануляция и формование. Одним из важнейших этапов технологии является дробление отходов углепластиков в частицы со средними фракционными размерами частиц менее 1 мм. Подразумевается проведение дробления-измельчения в два этапа: предварительное и тонкое измельчение. В качестве оборудования для начального этапа была разработана «шредерная» одновальная дробилка (рис. 1, а). Для тонкого измельчения используется двухвалковая дробилка с дисками РК-профиля (треугольник Рело) – рис. 1, б [3].

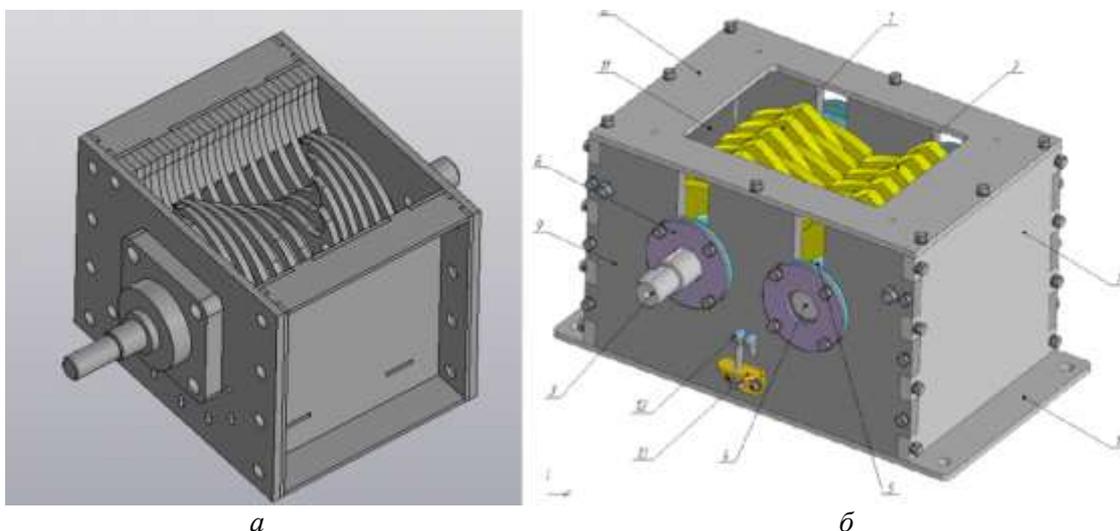


Рис. 1. Одновальная «шредерная» дробилка (а) и двухвалковая дробилка с дисками РК-профиля (б)

В качестве одного из видов смесителя может выступать кавитационный лопастной смеситель–диспергатор для подготовки порошковых суспензий. Согласно технологии в раствор полиэтиленгликоля на спирте добавляются измельченные частицы отходов углепластиков, в процессе кавитационного воздействия частицы дополнительно измельчаются, а после сушки суспензии и протирки через сито формируются в пластифицированные гранулы. Можно также

использовать специализированные грануляторы для получения более универсальных гранулы для пласт-автоматов.

На рис. 2 приведена конструкция кавитационного смесителя-диспергатора, которая подробно описана в работе [4], схема движения потоков порошковой суспензии и изображение (фото) опытно-экспериментального образца устройства.

Одним из этапов, проведенной конструкторско-технологической подготовки, является проведение контроля физико-механических свойств материала методом испытания на растяжение согласно ГОСТ 11262-80. На рисунке 3 приведен эскиз образца для растяжения и спроектированная пресс-форма. Пресс-форма изготавливается из плит Д16Т. Форма состоит из 2 частей верхней рис 3, б и нижней части рис 3, а. За одну операцию отливки, возможно изготовить 2 образца. Литьевые каналы специально смещены к широкой части образцов во избежание появления мест концентраций напряжений от мест инъекции материала.

Для изготовления образцов из полученных смесей армированного материала используется ручная литейная машина, представленная на рис. 4.

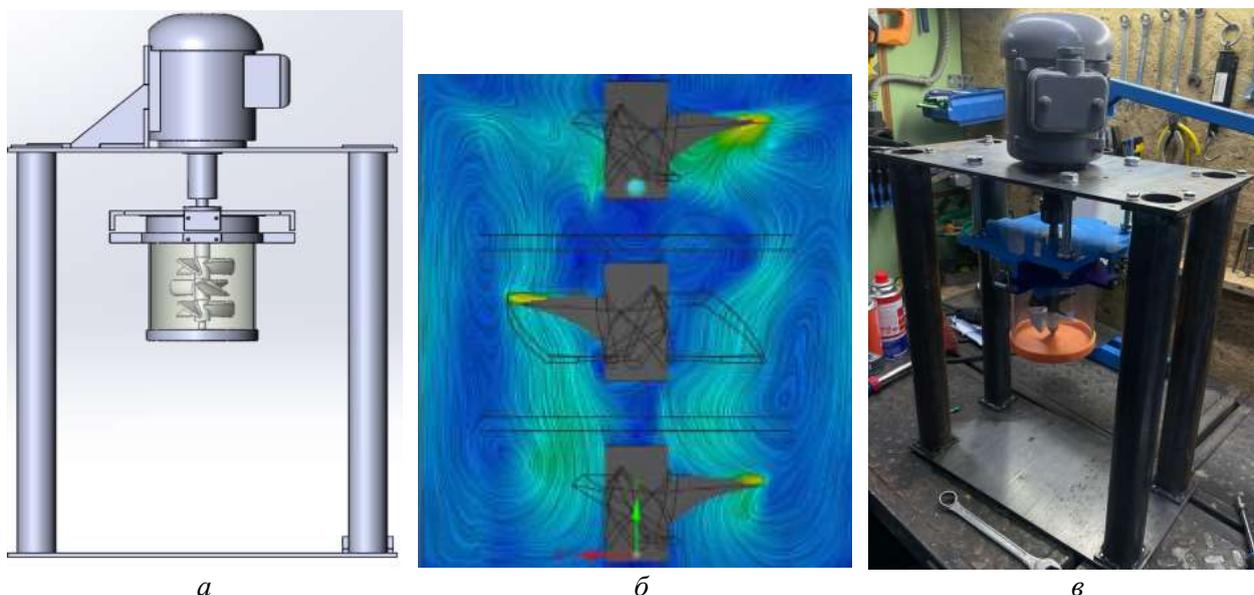


Рис. 2. Конструктивное исполнение кавитационного диспергатора (а), схема потоков (б) опытно-экспериментальный образец установки (в)

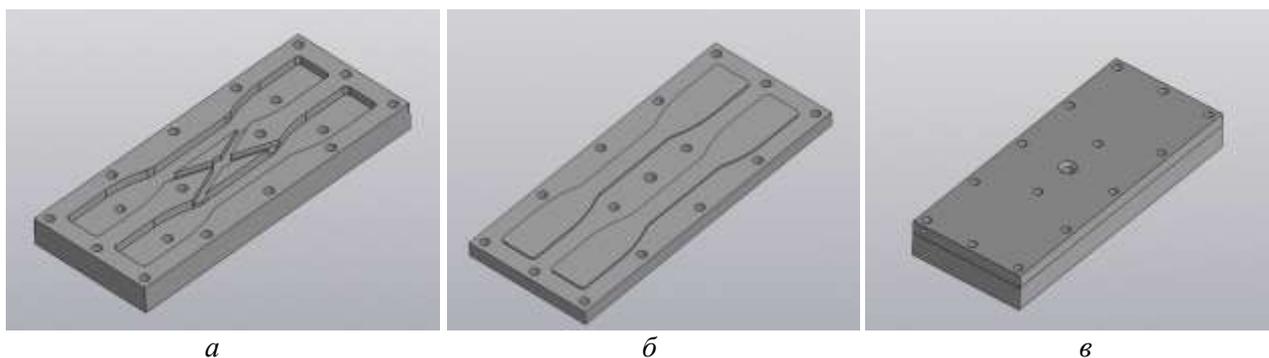


Рис. 3. Сборка (в) пресс-формы для изготовления образцов на растяжение, нижняя часть (а) и верхняя часть (б)



Рис. 4. Ручная литьевая машина

Упрочнение предполагается производить на двух марках матричных полимеров: ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) и РР (полипропилен). Выбор этих материалов произведен по причине их широкого распространения и универсальности.

Список литературы

1. Carbon Composites, утилизация и переработка карбона: методы и польза [Электронный ресурс]. URL: <https://comcarbo.ru/news/utilizatsiya-i-pererabotka-karbona-metody-i-polza/> (дата обращения: 15.09.2024).
2. Livejournal, утилизация лопастей турбин: ахиллесова пята ветроэнергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://engineering-ru.livejournal.com/595711.html> (дата обращения: 10.09.2024).
3. Кривов Д.А., Гордеев Ю.И. Разработка принципиальной схемы дробилки с валками в форме РК-профиля //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7. – С. 78–83.
4. Использование механизмов кавитационного воздействия в технологиях порошковой металлургии / Н.А. Леонтьев // Технологии и техника: пути инновационного развития, 2023. Режим доступа: URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54099223>.

СЕКЦИЯ 5
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Казинцев Р.В.
НИ ТПУ, ИШНПТ,
e-mail: rvk26@tpu.ru*

Развитие машиностроительного комплекса России обеспечено с применением современного оборудования, высокотехнологичного производства, строящимися новыми объектами. Все это благотворно сказывается на экономике страны и благосостоянии ее граждан. Однако крупные машиностроительные предприятия оказывают влияние на экологическую безопасность.

Объекты машиностроительного комплекса чаще всего размещаются в крупных индустриальных центрах России. Для успешной деятельности машиностроение нуждается в обеспечении своих объектов топливно- энергетическими ресурсами, металлами, водными ресурсами, рабочей силой и транспортными сетями. Развитая инфраструктура крупных городов и наличие других сопутствующих производств позволяют предприятиям машиностроения получать для своего развития все нужные для производства ресурсы. Загрязнение атмосферы от машиностроительных предприятий может происходить в результате выбросов различных вредных веществ. Основные источники загрязнений включают:

1. **Выбросы газов:** в процессе работы машиностроительных предприятий происходит сжигание топлива, что приводит к выбросу углекислого газа (CO_2), оксидов азота (NO_x), серы (SO_2) и других газов.

2. **Пыль и твердые частицы:** при обработке металлов, шлифовке и других механических процессах в воздух могут попадать металлические и неметаллические частицы.

3. **Химические вещества:** использование различных химикатов в процессе производства (например, растворителей, смазочных материалов) может привести к выбросам летучих органических соединений (ЛОС).

4. **Шумовое загрязнение:** хотя это не является атмосферным загрязнением в строгом смысле, шум от оборудования и машин может негативно влиять на окружающую среду и здоровье людей.

Одним из побочных продуктов работы машиностроительных заводов являются загрязненные сточные воды. Их основные источники – предприятия, работающие с химическими веществами (покрасочные, цеха по созданию защитных покрытий и т. д.). Также загрязнение воды производят литейные, термические и кузнечные отделения. В зависимости от объемов производства и наличия очистительных систем, степень загрязнения колеблется в значительных пределах. Для примерного определения объемов загрязнения используют специальные таблицы, которые называются «Укрупненные нормы расхода и загрязнения воды на единицу продукции». Точное количество загрязнений разных типов определяют с помощью лабораторных исследований. Сточные воды машиностроительных предприятий разделяют на 6 категорий в зависимости от степени загрязнения:

1. Чистые. Составляют порядка 50–80 % от всего объема. Это те воды, которые используют для охлаждения оборудования в специальных системах.

2. Загрязненные примесями и маслами – 10–15 % от всего объема.

3. Загрязненные химическими смесями. Составляют 5–10 % от объема сточных вод предприятия. Главный источник – цеха по покраске и нанесению защитных слоев.

4. Использованные химические примеси и эмульсии.

5. Воды, загрязненные пылью и землей. Составляют до 20 % от объема, являются побочным продуктом литейных, кузнечных и термических цехов.

6. Естественные или поверхностные – к ним относится талая и дождевая вода, а также вода из поливочных систем.

Какие имеются последствия загрязнения сточных вод:

1. Изменение количественного содержания питательных веществ в водоемах. Приводит к изменению продуктивности и росту количества фитопланктона. Это выражается в активном цветении водоемов – росту количества водорослей, изменении качества иловых отложений за счет интенсивного гниения и последующего выделения токсичных веществ.

2. Загрязнение органическими отходами, токсическими и ядовитыми веществами приводит к тому, что вода становится непригодной для использования ее живыми существами, в том числе и человеком. Вода становится переносчиком бактерий, вирусов и микроорганизмов, что делает ее опасной для использования.

3. Изменение кислотности водоемов (снижение уровня pH) – закисления за счет попадания в воду углекислого газа. Это также негативно сказывается на живых организмах, раковины которых образованы из углекислого кальция.

Более 20 тыс. промышленных предприятий России играют заметную роль в загрязнении окружающей среды. В некоторых промышленных предприятий России играют заметную роль в загрязнении окружающей среды. В некоторых промышленных районах с наиболее опасными производствами вредные выбросы иногда многократно превышают санитарные нормы.



Рис. 1. Последствия загрязнений сточных вод

Заключение

Экологическая безопасность машиностроительных предприятий требует комплексного подхода и активного участия всех уровней управления. Внедрение эффективных экологических практик не только способствует сохранению окружающей среды, но и может привести к экономическим выгодам за счет снижения затрат на ресурсы и улучшения имиджа компании.

Список литературы

1. Загрязнение вод промышленными предприятиями, в частности, сбросами: решение проблемы попадания отходов со сточными водами промышленности в водоемы, масштаб катастрофы.

2. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Feco-systema.com%2Fupload%2Fiblock%2F034%2Fpolluted-wastewater.pdf%3Fysclid%3Dm3m10y2tk451006636&cc_key=.

3. URL: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Felar.urfu.ru%2Fbitstream%2F10995%2F37419%2F1%2Fecology_2015_102-107.pdf%3Fysclid%3Dm349n646jj38369667&cc_key=.

К УТОЧНЕНИЮ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УЯЗВИМОСТИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТЭК

Соловьев О.И., магистрант,

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва,

e-mail: newbeekock@yandex.ru

Мосолов А.С., кандидат технических наук, доцент,

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

e-mail: asmosolov@yandex.ru

Акинин Н.И., доктор технических наук, профессор,

РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

e-mail: Akinin.n.i@mustr.ru

Об интегральном показателе уязвимости

Эксплуатация опасных производственных объектов (ОПО) сопряжена с риском возникновения аварий и инцидентов. События последнего времени характеризуются появлением принципиально новой угрозы в отношении критических элементов ОПО [1], а именно, «нападение беспилотных автоматизированных комплексов» [2]. Подобного рода воздействия приводят к взрывам и возникновению пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса, меняют представления о сценариях развития аварийных ситуаций.

Авторами доклада большое внимание уделено повышению точности прогнозирования приоритетного сценария развития аварийной ситуации и снижению погрешности количественных оценок рисков для категорированных объектов химической и нефтеперерабатывающей промышленности, использованы некоторые материалы научных исследований, выполненные сотрудниками кафедры «Техносферная безопасность» РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Если, например, раньше в сценариях развития АС применительно к таким объектам, как резервуары вертикальные стальные (РВС), рассматривались преимущественно пожары пролива, а взрывы ТВС считались маловероятными, то анализ тактических приемов боевого использования БПЛА по объектам ТЭК свидетельствует об обратном.

Концептуально задача определения уязвимого критического элемента требует своего решения в виду требований Законодательства [1, 3] в части анализа уязвимостей производственно-технологического процесса и определения прогнозных значений показателей критериев категорирования: зоны чрезвычайной ситуации, социального и материального ущерба.

В отличие от [3] авторами предложен алгоритм определения категории на базе интегрального показателя уязвимости с учетом значений показателей всех критериев категорирования (K_n) и их важности (P_n) с т. з. мнения экспертов, и результаты его практического применения на подземном хранилище нефтепродуктов (в отличие от Методических Рекомендаций, где учитывается только один наивысший показатель одного из трех критериев) [4, 5]. Для большей объективности используются три метода: «Полный анализ иерархий», «Сокращенный анализ иерархий» и методы многокритериальной оптимизации, включая «Метод смещенного идеала».

Важность критерия	Критерий	Варианты альтернатив принятых решений						
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	...	A_m
P_1	Критерий 1	K_1P_1	K_2P_1	0,3	0,05	0,04	...	K_nP_1
P_2	Критерий 2	K_1P_2	K_2P_2	0,25	0,14	0,07	...	K_nP_2
P_3	Критерий 3	K_1P_3	K_2P_3	0,1	0,09	0,09	...	K_nP_3
P_4	Критерий 4	K_1P_4	K_2P_4	0,1	0,07	0,07	...	K_nP_4
...
P_n	Критерий n	K_1P_n	K_2P_n	K_3P_n	K_4P_n	K_5P_n	...	K_nP_n
Результат		$\sum (P_n \times K_1P_n)$	$\sum (P_n \times K_2P_n)$	$\sum (P_n \times K_3P_n)$	$\sum (P_n \times K_4P_n)$	$\sum (P_n \times K_5P_n)$...	$\sum (P_n \times K_nP_n)$

Рис. 1. Пример экспертной матрицы с учетом важности критериев и расчет «весовых значений» альтернатив для принятия решений

Произведение «веса коэффициента важности критерия» (P_n) на числовую экспертную оценку альтернатив (K_n) по каждому критерию позволяет определить «весовое значение» критического элемента, или интегральный показатель его уязвимости, то есть численную величину её привлекательности для злоумышленника.

О расчете пожарного риска

Существующая методика расчета величины пожарного риска позволяет учитывать лишь размер «Социального ущерба».

Авторы предлагают использовать интегральный показатель пожарной уязвимости (ИППУ) с целью выделения его доли (непосредственно вызванной воздействием пожара и опасных факторов пожара) из величины прямого материального ущерба.

С этой целью ранее описанная «экспертная» матрица преобразуется посредством введения дополнительного критерия «величина пожарного риска».

В результате дополнительный критерий «пожарный риск» не изменил ранее выбранный уязвимый элемент, по которому была присвоена категория. Однако, с учетом введения величины пожарного риска, изменилась величина интегрального показателя, что свидетельствует о необходимости усовершенствования противопожарных мероприятий на данном «критическом элементе» [6].

Для расчета величины «интегрального показателя пожарной уязвимости» следует воспользоваться формулой

$$D_{S_n} = S_n \cdot d,$$

где D_{S_n} – интегральный показатель пожарной уязвимости, S_n – интегральный показатель уязвимости, d – доля прямого материального ущерба от пожара.

Использование данной величины может быть целесообразным в обосновании разрабатываемых защитных мероприятий в области физической защиты, промышленной безопасности и противопожарных мероприятий.

Также данная величина может быть использована при расчете величин «страховых премий», так как она позволяет более полно прогнозировать потенциальный ущерб.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».
2. Постановление Правительства № 221 от 28.02.2024 г.
3. Методические рекомендации Министерства энергетики Российской Федерации от 10.10.2012 г.
4. Губина Т.А., Мосолов А.С., Акинин Н.И. Алгоритм метода определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты. Кокс и химия. – 2019. – № 6. – С. 41–49.
5. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (в ред. Постановлений Правительства РФ от 17.05.2011 № 376, от 20.12.2019 № 1743, от 11.09.2024 № 1250).
6. Мосолов А.С., Акинин Н.И., Соловьев О.И. Использование показателя уязвимости критического элемента для оценки снижения пожарного риска // Пожарная безопасность. – 2024. – № 1 (114). – С. 74–91.

ЗАЩИТА ОПЕРАТОРА ОТ ВИБРАЦИИ НА ОБОРУДОВАНИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СПОСОБАХ СВАРКИ

Дында Е.П.

Томский политехнический университет, ИШНПТ,

e-mail: epdb@tpu.ru

На сегодняшний день большинство конструкций, используемых во всех отраслях промышленности, изготавливается и монтируется с помощью сварки. Это обусловлено либо невозможностью, либо высокой стоимостью создания таких конструкций посредством других технологических процессов. Однако совокупные механические и другие свойства сварных соединений редко достигают 80–90 % от свойств основного металла. Сварное соединение обычно служит концентрацией напряжений, местом появления различных дефектов и нежелательных структурных изменений.

Сравнительно новым методом повышения качества сварных соединений является вибрационная обработка. По агрегатному состоянию объекта обработки (сварного шва) методы вибрационной обработки можно разделить на два типа: обработка расплавленного и кристаллизующегося металла; обработка затвердевшего металла.

Несколько научных работ, посвященных влиянию вибрации, относятся к обработке металла после затвердевания. При рассмотрении вибрационной обработки сварных конструкций, выполняемой после кристаллизации сварного шва и его охлаждения до комнатной температуры, основным ее назначением является уменьшение остаточных напряжений и деформаций. [1, 2]

Существует также метод одновременной вибрационной обработки соединений в процессе сварки. В этом подходе вибрационное воздействие оказывается не только на затвердевший металл сварного шва, но и на расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны, что позволяет получать более широкий спектр положительных эффектов от обработки и применять локальное введение упругих колебаний непосредственно в зону сварки. Такой подход значительно снижает необходимую мощность вибрационного оборудования и повышает универсальность метода.

Однако, несмотря на это, было установлено, что уровни локальной вибрации при работе с ручными шлифовальными машинками при зачистке сварных швов превышают допустимые значения. [3]

При работе с инструментами, требующими обхвата профильных рукояток, переключения органов управления, удержания ручных машин в различном пространственном положении, пространственной работы кистью и нажатия пусковых устройств пальцами, применяются средства индивидуальной защиты рук от вибрирующих объектов. К ним относятся антивибрационные рукавицы с поролоновыми прокладками или наладонниками из резины (рис. 1–6).

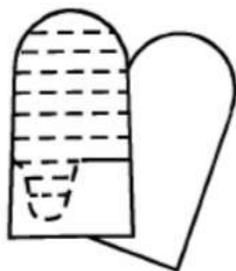


Рис. 1. Рукавица

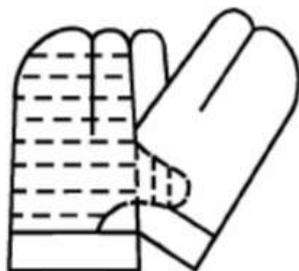


Рис. 2. Перчатка трехпалая

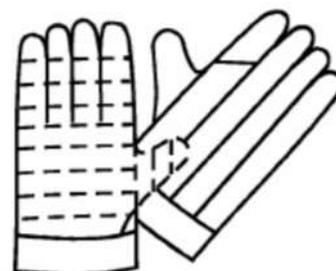


Рис. 3. Перчатка пятипалая

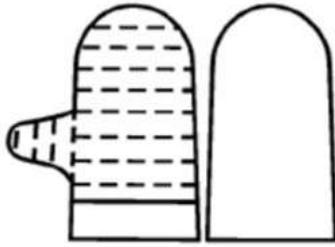


Рис. 4. Рукавица с полимерным латексным покрытием

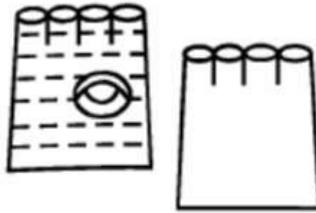


Рис. 5. Полуперчатка

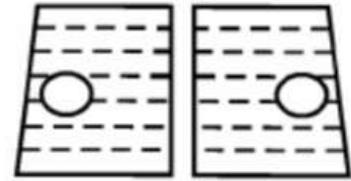


Рис. 6. Полурукавица

В целях профилактики развития вибрационной болезни для работающих с вибрирующим оборудованием регламентируется режим работы – продолжительность рабочей смены, обязательные перерывы, отдых.

Список литературы

1. Гаврилин И.В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. Владимир: Владимир. гос. ун-т, 2000.
2. Голиков И.Н., Маслеников С.Б. Дендритная ликвация в стали и сплавах. – М.: Металлургия, 1977.
3. Лазаренков А.М. Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. – 2011. – № 3. – (62). С. 192–193

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАТОРА ОБОРУДОВАНИЯ – ВАКУУМНАЯ КАМЕРА

Ившин В.С.

Томский политехнический университет, ИШНПТ,

e-mail: vsi8@tpu.ru

Развитие промышленности в России приводит к разработке новых средств автоматизации или строительству новых предприятий, которые должны соответствовать требованиям техник безопасности рабочих. При разработке новых установок или приводов конструктор должен предусмотреть наличие аварийных отключателей, для соблюдения техники безопасности. Согласно ГОСТ Р 51333-99 требуется устанавливать аварийные отключатели – техники безопасности и производственной санитарии на промышленных предприятиях должны быть установлены аварийные кнопки «Стоп».

Эти кнопки предназначены для экстренного ручного отключения механизмов или его движущихся частей, а также для остановки промышленного оборудования, конвейеров, станков, электродвигателей, имеющих дистанционное управление, в случае возникновения нештатных аварийных ситуаций. Ею разрешается пользоваться только при экстренной остановке или для отключения всех движений, которые могли бы привести к созданию опасного положения на производстве.



Рис. 1. Кнопка аварийной остановки

Сфера использования кнопки «Стоп» достаточно широка: от систем управления производственными процессами до железнодорожного транспорта.

Кнопка аварийной остановки имеет выступающий, увеличенного размера грибовидный толкатель, имеющий красный цвет и диаметр порядка 27–37 мм. Ее защитный кожух достаточно прочный, поскольку изготовлен из поликарбоната. Возможно нанесение на нем маркировки. Некоторые модели кнопки «Стоп» имеют подсветку одиночным светодиодом красного цвета.

Число аварийных кнопок «Стоп» должно быть таким, чтобы с любого места, где может находиться обслуживающий персонал, был обеспечен к ней свободный доступ. Для экстренной остановки механизма конвейера кнопки аварийной остановки располагаются в двух его сторон: в начале и конце линии.

Для простой остановки используются тросовые переключатели с положительным размыканием при среднем натяжении троса; это также позволяет обнаруживать повреждение троса. Для данных типов выключателей обычно используется трос черного цвета.



Рис. 2. Тросовые переключатели с положительным размыканием

Для аварийной остановки используются тросовые выключатели с положительным размыканием в соответствии с EN ISO 13850. Здесь система механического сброса открывает контакт, независимый от скорости приведения в действие троса, как при приведении в действие, так и при обрыве троса. С помощью этих выключателей система сброса должна сбрасываться вручную после каждого вмешательства. Для данных типов выключателей обычно используется трос красного цвета, также рекомендуется использовать специальный индикатор.

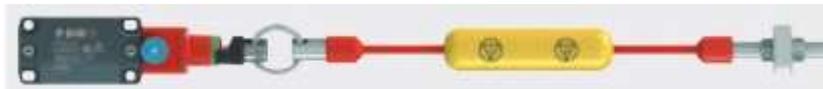


Рис. 3. Тросовые выключатели с положительным размыканием в соответствии с EN ISO 13850

В нормальном рабочем положении контакты замкнуты. Если происходит провисание или обрыв троса контакты размыкаются и происходит аварийная остановка производства.

Цель использования данных устройств обеспечения безопасности является критически важным по нескольким причинам:

1. Риски травм: Вакуумные камеры работают с высокими давлениями и могут создавать опасные условия, такие как взрывы или разрывы, если оборудование неисправно или неправильно используется. Обеспечение безопасности помогает предотвратить травмы оператора.
2. Предотвращение аварий: Принципы обеспечения безопасности помогают избежать аварийных ситуаций, что защищает не только оператора, но и других сотрудников на предприятии.
3. Долговечность оборудования: Соблюдение мер безопасности может защитить оборудование от повреждений и продлить его срок службы, что также выгодно для бизнеса.

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Чжао Вэнья^{1,2}, Чжан Ифань^{1,2}, Сорокова С.Н.²

¹Шеньянский политехнический университет, Международный инженерный институт,
e-mail: 3022827955@QQ.com, zyf02082022@163.com

²НИ ТПУ, ИШНПТ, ОМШ,
e-mail: s_sorokova@tpu.ru

Проблема утилизации отработанных СОЖ остается актуальной по сей день, так как, несмотря на разнообразие существующих способов, универсальная методика не разработана. СОЖ оказывают непосредственное влияние на производительность и качество обработки металлов резанием.

СОЖ позволяют отвести тепло от обрабатываемой детали и режущего инструмента, уменьшить силы трения на контактирующих поверхностях путем влияния на адгезию. Кроме того, они обеспечивают удаление из зоны резания продуктов износа инструмента, мелкой стружки и других отходов обработки.

Известны следующие методы переработки отработанных СОЖ:

- очистка в силовых полях: седиментация, центрифугирование, магнитная сепарация;
- физико-химические методы: флотация, реагентная обработка, коагуляция, сорбция, обратный осмос, ультрафильтрация и электрокоагуляция;
- термические методы: огневое обезвреживание и выпаривание;
- биохимические методы: биофильтрация и применение аэротенков [1].

Предложены сорбционные способы очистки отработанных эмульсий на активированных углях, гидрофильных глинах, силикагелях. Преимущество такого способа утилизации – попутная утилизация масляной фазы эмульсии, которая при оседании в порах углей значительно увеличивает их топливную калорийность. Очистку эмульсий можно проводить в обычных напорных или каркаснонасыпных фильтрах [2].

Для утилизации сточных вод, содержащих смазочноохлаждающие жидкости, возможно использование комплексного адсорбента, состоящего из распадающегося сталеплавильного шлака и железорудного концентрата при массовом соотношении 1:1,5, с применением обработки суспензии в магнитном поле. Таким образом, предлагается композиционный сорбент с магнитными свойствами для переработки водомаслосодержащих отходов при воздействии магнитного поля с целью интенсификации процессов деструкции эмульгированных нефтепродуктов [3].

На сегодняшний день, учеными проводятся исследования аэробных и анаэробных биосорбционных процессов. Такие процессы основаны на совместной во времени и в пространстве биологической и адсорбционной очистке промышленных сточных вод. По результатам лабораторных исследований получено, что эффективность биологической очистки сточных вод в значительной степени определяется протеканием совокупности биосорбционных процессов, таких как:

- иммобилизацией микробных клеток на поверхностях адсорбционных материалов;
- адгезионно-сорбционным изъятием загрязняющих веществ биоплёнкой;
- сорбцией примесей, в том числе, токсичных компонентов сточных вод на поверхности адсорбента;
- биологическим окислением загрязняющих веществ микроорганизмами, закреплёнными на поверхности сорбента.

В ходе лабораторных исследований в качестве адсорбентов использовались различные адсорбционные материалы (порошкообразный активированный уголь, цеолитсодержащая порода) природного происхождения, а также отходы производств. Биологическая составляющая представлена культурами активного ила и высокоразвитой биопленки [4].

Мембранные способы основаны на разделении эмульсий фильтрованием через полупроницаемые мембраны, пропускающие воду и задерживающие растворенные и эмульгированные частицы. На сегодняшний день известны три метода мембранного разделения: ультрафильтрация, обратный осмос (гиперфильтрация) и микрофильтрация. Основным недостатком мембранных методов – необходимость в тонкой очистке эмульсии от механических примесей.

Термические способы утилизации – это упаривание, дистилляция и вымораживание. Такие способы позволяют разделить эмульсию на практически чистую воду (конденсат) и сгущенный масляный осадок, пригодный для утилизации. К недостаткам данных способов можно отнести высокую энергоемкость и возможность разрушения масляной фазы при нагревании [2].

Но разработанные и используемые методы очистки производственных сточных вод не являются универсальными. На каждом производстве для эффективной утилизации СОЖ применяется комплекс методов, так как использование только одного способа переработки не может обеспечить полной деструкции.

Список литературы

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для Обработки металлов резанием: справочник; под ред. Энтелеса С.Г., Берлинера Э.М. – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.
2. Соколов Л.И. Ресурсосберегающая технология очистки масло-эмульсионных сточных вод: монография. – В.: ВоГУ, 2014. – 74 с.
3. Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е. Способ очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 6. – С. 246–249.
4. Сироткин А.С., Шулаев М.В., Понкратова С.А., Нуруллина Е.Н., Емельянов В.М. Биосорбционные технологии очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 6. – С. 65–75.

ЗАЩИТА ОТ РЕНГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОНОЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

Kunnec К.Д.
НИ ТПУ, ИШНПТ,
e-mail: ms.kkiissss@yandex.ru

Электронно-лучевая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев металла производится потоком – лучом быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою кинетическую энергию, превращаясь в тепловую, и нагревают металл. Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум 10^{-1} – 10^{-3} Па. Вакуум необходим для свободного движения электронов, уменьшения числа их столкновения с газовыми молекулами в процессе ионизации. Вакуум также необходим для обеспечения чистоты наплавляемого металла, предупреждения его окисления и азотирования, уменьшения количества растворенных в нем газов [3].

При электронно-лучевой сварке возникает рентгеновское излучение двух видов – тормозное и характеристическое. На образование рентгеновского излучения затрачивается приблизительно 1 % вводимой энергии.

Тормозное излучение возникает, когда падающие на мишень электроны испытывают внутри неё торможение в поле атомных ядер. В результате электроны, бомбардирующие мишень, теряют часть энергии в виде электромагнитного излучения.

Характеристическое излучение появляется, когда электроны, бомбардирующие поверхность свариваемых деталей, сталкиваются с атомами металла и теряют часть своей энергии [1].

Для защиты от рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) необходимо обеспечить полную радиационную безопасность установок. Уровни рентгеновского излучения на рабочих местах не должны превышать величин, допустимых для лиц, не работающих с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Некоторые меры защиты:

Расчёт толщины защиты электронной пушки электронно-лучевых установок с фокусирующей и отклоняющей системами плавильной или сварочной камер должен производиться в соответствии с рабочим напряжением установки и максимальной силой тока.

Смотровые окна должны быть снабжены свинцовыми стёклами с толщиной, эквивалентной защите камеры, а для плавильных установок – оборудованы перископическими устройствами.

На рис. 1 и 2 представлены установки для электронно-лучевой сварки, разработанные компанией ООО «НПК ТЭТА» г. Томск [4].



Рис. 1. Пример конструкции установки для электронно-лучевой сварки

Мощность экспозиционной дозы неиспользуемого рентгеновского излучения в любой точке пространства на расстоянии 5 см от корпуса установки или специальной защитной камеры, а также у смотровых иллюминаторов не должна превышать 0,07 мкР/с при 41-часовой рабочей неделе и 0,08 мкР/с при 36-часовой рабочей неделе.



Рис. 2. Пример конструкции установки электронно-лучевой сварки, оснащенной свинцовыми смотровыми окнами

Дозиметрический контроль защиты должен проводиться не реже 1 раза в год, а также после монтажа или внесения изменений в конструкцию действующих установок. Замеры мощности дозы рентгеновского излучения следует проводить на рабочем месте оператора у смотровых окон, а также в местах стыков отдельных частей установки и других участках возможного ослабления защиты [2].

Защита от рентгеновского излучения должна обеспечивать полную радиационную безопасность установок, т. е. уровни рентгеновского излучения на рабочих местах не должны превышать величин, допустимых для лиц, непосредственно не работающих с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (относящихся к категории «Б» в соответствии с «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-69) и «Основными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений»).

Список литературы

1. Браверман В.Я. Тормозное рентгеновское излучение при электронно-лучевой сварке и его взаимосвязь с параметрами процесса // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2008. – № 3(20). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/hormoznoe-rentgenovskoe-izluchenie-pri-elektronno-luchevoy-svarke-i-ego-vzaimosvyaz-s-parametrami-protssessa>.
2. Требования к защите от рентгеновского излучения при электронной обработке металла // Судебные и нормативные акты РФ. – URL: <https://sudact.ru/law/sanitarnye-pravila-pri-svarke-naplavke-i-rezke/sanitarnye-pravila/7/?ysclid=m3bq5br8b4504967168>.
3. Электронно-лучевая сварка // Рувики. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Электронно-лучевая_сварка.
4. Электронно-лучевая сварка // ТЭТА – российский лидер электронно-лучевых технологий. – URL: https://tetacom.ru/?page_id=441.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ОТ 3D-ПЕЧАТИ

*Кирьянов А.А.
НИ ТПУ, ИШНПТ,
e-mail: aak390@tpu.ru*

3D-печать, или аддитивное производство, стала революционным процессом в самых разных отраслях, включая производство, медицину и архитектуру. Однако, с ростом популярности этой технологии, возникает проблема отходов, генерируемых в процессе печати. В данной статье мы рассмотрим проблемы, связанные с отходами от 3D-печати, и методами их переработки.

С ростом популярности 3D-печати в различных отраслях, от промышленности до искусства, возникает необходимость в эффективной утилизации отходов, связанных с этой технологией. 3D-печать, хотя и предлагает множество преимуществ, таких как индивидуализация и сокращение времени на производство, также приводит к образованию значительного количества пластиковых отходов. В этой статье мы рассмотрим типы отходов, методы их переработки, а также экологические и экономические аспекты, связанные с переработкой отходов от 3D-печати.

Типы отходов от 3D-печати

Отходы от 3D-печати могут быть классифицированы на несколько категорий:

1. Неподходящие модели: изделия, которые не соответствуют требованиям или были напечатаны с ошибками. Это может быть связано с неправильными настройками принтера или ошибками в дизайне.
2. Обрезки и остатки материала: ленты, нити и другие остатки, которые остаются после печати. Эти отходы могут возникать при подготовке к печати или в процессе печати.
3. Поддерживающие структуры: временные конструкции, которые используются для поддержки сложных геометрий во время печати. После завершения печати они часто удаляются и становятся отходами.

Методы переработки. Переработка отходов от 3D-печати может осуществляться различными способами:

1. Механическая переработка

Многие 3D-принтеры используют термопластики, такие как PLA, ABS или PETG. Могут быть переработаны в гранулы, которые затем могут быть повторно использованы для печати.

PLA – это термопластичный полиэфирный полимер. По сути, он использует восковые части растений для формы и это помогает ему распадаться на биоразлагаемые части на полигоне.

ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол) – ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом.

PETG – это сополиэфир, высокопрочный, износостойкий материал. Он обладает высокой температурой плавления, стойкостью к большинству химических реагентов и ультрафиолету.

- Измельчение: отходы могут быть измельчены в гранулы, которые затем могут быть использованы для повторной печати. Это позволяет снизить затраты на новые материалы и уменьшить объем отходов.

- Экструзия: измельченные отходы могут быть переработаны в новые нити для 3D-принтеров с помощью экструдеров. Это позволяет создавать новые продукты из переработанных материалов.

2. Химическая переработка

- Пиролиз: этот метод включает нагревание пластиковых отходов в отсутствие кислорода, что приводит к разложению полимеров на более простые молекулы. Эти молекулы могут быть использованы для производства новых пластиковых материалов.

- Рециклинг с использованием растворителей: некоторые полимеры могут быть переработаны с использованием растворителей, которые разлагают материал, позволяя его повторное использование.

3. Энергетическая переработка

Сжигание: пластиковые отходы могут быть сожжены для получения энергии. Однако этот метод вызывает экологические опасения из-за выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ.

4. Использование биоматериалов

Некоторые компании разрабатывают биоматериалы, которые могут быть переработаны или компостированы. Это позволяет уменьшить воздействие на окружающую среду и сокращает количество отходов.

5. Утилизация

Отходы, которые не могут быть переработаны, должны быть утилизированы соответствующим образом, чтобы минимизировать их воздействие на окружающую среду. Это может включать в себя захоронение на свалках или сжигание с последующим улавливанием выбросов.

Инициативы и технологии

Существуют различные инициативы и технологии, направленные на переработку отходов от 3D-печати:

- Сбор и переработка: некоторые компании и организации начинают предлагать услуги по сбору и переработке отходов от 3D-печати. Это позволяет пользователям более ответственно подходить к утилизации.
- Использование переработанных материалов: разработка новых 3D-печатных материалов на основе переработанных пластиковых отходов способствует замкнутому циклу использования ресурсов. Например, некоторые компании уже предлагают нити для 3D-печати, изготовленные из переработанных пластиковых бутылок.

Экологические и экономические преимущества

Переработка отходов от 3D-печати имеет множество экологических и экономических преимуществ:

- Снижение отходов: Переработка помогает уменьшить объем пластиковых отходов, попадающих на свалки, что способствует улучшению экологической ситуации.
- Экономия ресурсов: Использование переработанных материалов снижает потребность в новых ресурсах и уменьшает затраты на производство.
- Устойчивое развитие: Переработка способствует более устойчивому подходу к производству и использованию пластиковых материалов, что важно в условиях глобальных экологических вызовов.

Заключение

Переработка отходов от 3D-печати представляет собой важный шаг к более устойчивому будущему. С развитием технологий переработки и увеличением осведомленности о проблемах экологии, переработка пластиковых отходов становится не только необходимостью, но и возможностью для создания новых бизнес-моделей и инновационных решений. Важно продолжать исследовать и развивать методы переработки, чтобы минимизировать негативное воздействие 3D-печати на окружающую среду и способствовать более эффективному использованию ресурсов.

Список литературы

1. Коваленко Р.В. // Вестник Технологического университета, 2015. – Т. 18. – № 1. – С. 263–266.
2. Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017.
3. Кревсун В.В. Деструктивная переработка отходов 3D-печати / В.В. Кревсун ; науч. рук. Т.Н. Волгина // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 17–20 мая 2021 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – Т. 2. – С. 149–150.

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОГРЕВА И ОБЪЕМА ВЫДЕЛЯЕМОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ИЗ ЧАСТИЦЫ ТОПЛИВА

Сечин А.И., д.т.н., профессор,

e-mail: sechin@tpu.ru

Мезенцева И.Л., ст. преподаватель,

e-mail: mezenceva@tpu.ru

Сечин А.А., к.т.н., доцент,

e-mail: seanal@tpu.ru

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Взгляды специалистов по обеспечению безопасности производств хранения, транспортирования и переработке горючих пылей, а также их сжигания, формировались и на базе практических наблюдений. Они направлены не только на предупреждение формирования горючей среды, учета способности к воспламенению, способности к генерации в горючей среде источников зажигания. Авторы [1–5] отмечают, что ежегодно пылевые взрывы и пожары наносят значительный ущерб народному хозяйству.

Известно, что увеличение площади контакта фаз при измельчении угольных материалов вызывает выделение в окружающую среду некоторого объема газовой фазы. Данный эффект используется при сжигании угольных топлив, время и объем выделяемых газов при нагреве угольной частицы представляет несомненный интерес, так как на этих показателях формируются режимы сжигания топлива.

Целью настоящей работы являлось определение времени прогрева и расчетного объема выделяемой газовой фазы из частицы топлива.

Определение времени прогрева сухой частицы. Объектом методической апробации была выбрана бензойная кислота (ЧДА) как вещество, широко обращающееся в промышленности. Показатели пожаро- и взрывоопасности взяты из справочника [6]. Брутто формула $C_7H_6O_2$; молекулярная масса 122,82; горючий белого цвета кристаллический порошок с массовой долей основного вещества 99,8 %; температура плавления 1221–123 °С; температура вспышки 143 °С; температура воспламенения 151 °С; температура самовоспламенения 514 °С; аэрогель не воспламеняется при кратковременном воздействии малокалорийного источника зажигания; аэровзвесь взрывоопасна: нижний предел воспламенения 27,5 г/м³; удельное объемное электрическое сопротивление более 10¹⁴ Ом·м.

Авторами [71–8] было установлено, что на зажигание и горение аэровзвеси бензойной кислоты не влияет температура источника зажигания, что говорит о том, что структурная формула не подлежит изменениям при нагреве частицы и не образует паровой фазы при нагреве до 514 °С. Свыше данной температуры начинаются окислительные процессы, приводящие к пламенному горению.

Расчеты проводились для частиц диаметром δ , двигающимися в реакционной камере с изменяющимся температурным полем от 20 °С до 1100 °С, для режимов от 293 К до 1373 К.

Газовая среда в камере – воздух, Тг.

Начальная температура частиц – 293 К, Тч.

Плотность частиц ρ_{ch} составляет 1539,74 кг/м³.

$$\text{Исходя из критерия Федорова [9] } Fe = \delta^3 \sqrt{\frac{4g(\rho_q - \rho_c)}{3\nu^2 \rho_c}}, \quad (1)$$

$$\text{Определяем критерий Нуссельта } Nu = 0,4Fe^{0,9}, \quad (2)$$

где ν – кинематическая вязкость газа, (условно берем среднюю величину при 508 °С, $\nu = 40,61 \cdot 10^{-6}$ м²/с); ρ_c – плотность газовой среды, кг/м³, принимаем $\rho_c = 1,03$ кг/м³.

Были получены расчетные величины среднего диаметра частиц критерия Нуссельта, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные величины среднего диаметра частиц критерия Нуссельта

Средний диаметр частиц, δ , мм	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6
	0,0315	0,0815	0,1300	0,1800	0,2250	0,2825
Nu	0,325	0,698	1,063	1,562	1,909	2,343

Принимаем условие, что за полное время прогрева частицы принимается то время, за которое частица примет от нагреваемого реакционного объема среды 95 % максимально возможного количества тепла.

Тогда удельная теплоемкость частицы $C_{уд.ч}$ согласно [10] будет $C_{уд.ч} = C_{ч} + 0,000209 \cdot T_{ч}$.

Удельную теплоемкость частицы определяем из выражения ее связи [11] с молярной теплоемкостью, [Дж/кг·К].

$$C_{ч} = \frac{C_{\text{мол}}}{\mu}, \quad (3)$$

где μ – молярная масса вещества; $C_{\text{мол}}$ – молярная теплоемкость вещества [11].

$$\mu = 122,12; C_{\text{мол}} = 146,8. \text{ Тогда } C_{ч} = 1,202 \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right].$$

Затем определяем удельную теплоемкость частиц по выражению

$$C_{\text{уд.ч}} = 1,375 \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right].$$

По таблицам [12] определяем $\lambda_{г} = 0,305 \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$.

На основе полученных данных определяем полное время прогрева частиц [10]

$$\tau_{\frac{\varrho}{\varrho_{\text{max}}}} \leq 0,384 \frac{C_{ч} \rho_{ч} \delta^2}{\lambda_{г} Nu} \lg(1 - 0,95), \quad (4)$$

где δ – диаметр частицы, м.

Полученные расчетные результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Время прогрева частиц определенного диаметра в реакционной камере с изменяющимся температурным полем от 20 °С до 1100 °С

Средний диаметр частиц, δ , мм	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6
	0,0315	0,0815	0,1300	0,1800	0,2250	0,2825
τ_n , с	0,038	0,120	0,198	0,260	0,330	0,430

По полученным данным строим зависимость времени прогрева частицы от ее диаметра в реакционной камере с инициирующим источником зажигания и изменяющимся температурным полем от 20 °С до 1100 °С.

Анализируя полученную зависимость можно сказать, что время прогрева частицы диаметром 100 мкм до температуры 1100 °С составляет 0,07 с. В реальных условиях, согласно теории горения, частица уже большей своей частью сгорит [10]. Можно полагать, что от плотности пылевого облака будет зависеть как формирование фронта горения, так и режим горения.

Так же следует иметь в виду, что представленная зависимость относится к бензойной кислоте, взятой как наиболее изученное вещество, как при моделировании, так и отработке методических вопросов экспериментального характера. Привнесение в данный процесс выделения летучих, при моделировании прогрева угольных частиц, который отразится на характере наклона данной зависимости, который будет расти по отношению к оси абсцисс.

Разумеется, что угольная частичка будет иметь несколько другое время, так как будет газифицироваться на первом этапе, а на последующем, когда выделившийся газ самовоспламенится, будет интенсивнее прогреваться. Так что данные времена можно считать сопоставимыми в данном процессе как времена индукции рассматриваемого процесса.

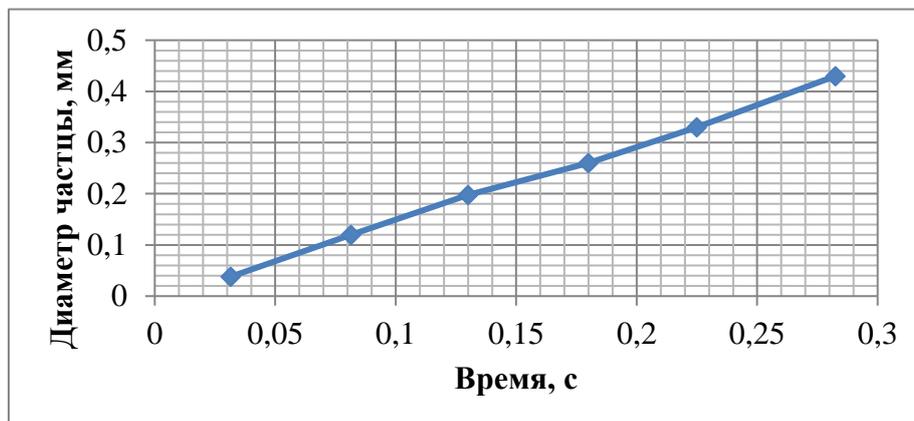


Рис. 1. Зависимость времени прогрева частицы от ее диаметра в реакционной камере с изменяющимся температурным полем от 20 °С до 1100 °С

Определение кинетических констант деструкции. Следующим шагом является определение кинетических констант деструкции частицы топлива. Деструкцию рассматриваем как процесс выделения летучих из угольной частицы.

Взяв за основу известное уравнение [10], имеем:

$$\frac{U_n^2}{a} = \Theta_0^5 k_0 5,35 \cdot 10^{-2} e^{\frac{1,5E}{RT_a}} \quad (5)$$

Обозначив $C = 5,35 \cdot 10^{-2} \Theta_0^5$ и прологарифмировав его имеем следующее выражение

$$\ln\left(\frac{U_n^2}{a}\right) = \ln(C \cdot k_0) - \frac{1,5E}{RT_a} \quad (6)$$

где T_a – теоретическая (адиабатическая) температура процесса, К; $\Theta_0 = \frac{T_0}{T_a}$ – начальная безразмерная температура; T_0 – начальная термодинамическая температура, К; U_n – нормальная скорость распространения пламени, м/с.

В полулогарифмической системе координат это выражение представляется прямой линией, и $\text{tg}\alpha$ пропорционален энергии активации E , а длина отрезка прямой отсекаемого от оси ординат пропорциональна k_0 .

Сухая частица топлива за время подлета в реакционной камере к инициирующему источнику зажигания нагревается до $T = 1393$ К. Необходимо количественно определить объемный выход из нее газовой фазы (объем летучих, в об. %) при достижении некоторой температуры T .

Энергию активации E принимаем равной $96800 \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$ (для сухого оксида углерода), при $k_0 = 7,05 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$. $R = 8,314$; $\Delta\tau = 0,038$ с.

Принимаем за величину временного интервала – $\tau_n - \tau_{n-1}$.

Тогда по представленному ниже выражению [10], произведем расчет выхода объема летучих газов за один временной интервал.

$$A_n = \exp \left[-k_0 (\tau_n - \tau_{n-1}) \exp \left(-\frac{E}{RT_q} \right) \right] \quad (7)$$

Проведенные расчеты показали, что при данных условиях частица топлива за время полета в реакционной камере к источнику зажигания нагревается и из нее выделяется до 18,4 % газовой фазы. А это значит, что первый этап горения аэрозвеси будет проходить в газовой фазе. На следующем этапе горение будет проходить после распада тяжелых жидкофазных молекул и углеродного остатка.

Выводы. В результате проведенного исследования было установлено, что в период формирования газодисперсного облака и приближении его к источнику зажигания в реакционной камере происходит его нагрев. Получена зависимость, показывающая, что время прогрева частицы диаметром 100 мкм до температуры 1100 °С составляет 0,07 с. Расчеты показали, что в результате нагрева топливной частицы объем выделения из твердой фазы летучих компонентов составляет 18,4 % к массе твердой фазы. Можно утверждать, что самовоспламенение выделившихся летучих компонентов инициирует образование фронта горения. Это говорит о том, что первый этап горения аэрозвеси угольного топлива проходит в газовой фазе и является определяющим в процессе инициирования и развития фронта горения в газодисперсном облаке.

Список литературы

1. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
2. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1983. – 472 с.
3. Пряников В.И. Техника безопасности в химической промышленности. – М.: Химия, 1989. – 285 с.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 678 с.
5. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
6. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. Пожаро- взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Справочник. – М.: Химия. – Т. 1, 2. – 1990. – 880 с.
7. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. // Химия и технология лекарственных препаратов и полупродуктов. Матер. научн.-прак. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – С. 5–34.
8. Сечин А.И., Яшин В.Я. Влияние температуры нагрева источника зажигания на нижний концентрационный предел распространения пламени в аэрозвесях // Известия Томского политехнического университета, – Томск: 2003. – Т. 6. – С. 45–51.
9. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. Изд. 2, переработ. и дополн. М., Наука, 1977. – 336 с.
10. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. – М.: Наука. – 1980. – 478 с.
11. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Изд. 2. исп. и доп. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
12. Вукалович М.П., Кириллин В.А., Ремизов С.А. и др. Термодинамические свойства газов. – М.: Машгиз, 1953.

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,
Штенцов Д.Г., аспирант
Сечин А.И., д.т.н., проф.,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел.8(923)-421-29-97
e-mail: chemy@tpu.ru*

Физиологическая норма содержания солей жесткости в воде хозяйственно-бытового назначения указана в СанПиН 2.1.4.1116-02 [1] на бутилированную воду и составляет от 1,5 до 7 ммоль/л. В тоже время, вода питьевая, предназначенная для питья и хозяйственно-бытовых нужд населения, а также коммунальных предприятий и предприятий пищевой промышленности, должна удовлетворять определенным санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым как к самому источнику водоснабжения ГОСТ 2761-84, так и воде, подаваемой потребителям [2].

На основе сведений [1, 2] можно сделать вывод, что для физиологических потребностей человека жесткость воды не должна быть ниже 1,5. Так же установлена верхняя граница общей жесткости воды на уровне 7 мг-экв/л, при использовании воды из подземных источников с разрешения органов санитарно-эпидемиологического надзора – до 10 мг-экв/л.

Известно, что вода с общей жесткостью свыше 7 мг-экв/л имеет неблагоприятные, как в техническом отношении, так и в бытовом, свойства:

- в теплоэнергетике способствует образованию накипи в котлах и трубах. Накипь уменьшает теплопередачу, увеличивает расход топлива; уменьшает срок службы труб, затрудняет циркуляцию горячей воды, может вызвать аварию;
- в текстильной промышленности жесткость воды мешает отделке тканей;
- мыла в жесткой воде теряют эмульгирующие и поверхностно-активные свойства, поскольку образуют нерастворимые кальциевые и магниевые соли [3].
- в жесткой воде хуже развариваются мясо, овощи и бобовые, так как соли кальция образуют с белками нерастворимые соединения, препятствующие усвоению продуктов; чай в жесткой воде плохо настаивается и вкусовые качества его снижаются [4].
- высокое содержание в питьевой воде солей кальция и магния является фактором риска мочекаменной болезни [5].

Кинетика процесса кристаллизации (выпадение солей жесткости в осадок) имеет 2 стадии: 1 – образование центров (или зародышей) кристаллизации 2 – рост зародыша. Кристаллизацию можно отнести к топомхимической реакции, следовательно, процесс удаления солей жесткость можно описать уравнением Ерофеева-Аврама или Казеева-Ерофеева с поправкой Саковича [6]:

$$\alpha = 1 - e^{-Kt^n} \quad (1)$$

где α – степень превращения вещества; K – постоянная, определяющая константу скорости реакции; K – константа скорости реакции, согласно поправке Саковича [7]:

$$K = n \cdot k^{1/n}, \quad (2)$$

где, n – порядок реакции, τ – время контакта, с.

При изучении кинетики необходимо определить закономерности протекания реакции в зависимости от изменения времени контакта, концентрации аммиака, температуры воды.

По результатам экспериментальных данных проведено исследование кинетики процесса удаления солей жесткости из раствора водопроводной воды.

Результаты проведенных экспериментов, позволили построить зависимость степени снижения общей жесткости раствора водопроводной воды от температуры воды при перемешивании 17000 об/мин [8].

На основании исследований влияния водного раствора аммиака на процесс умягчения воды построен график зависимости степени умягчения воды.

Исходя из опытных данных, был определен порядок реакции. Согласно уравнению Аррениуса определены энергии активации процесса кристаллизации солей жесткости при воздействии интенсивного перемешивания на водопроводную воду без добавления и с добавлением водного раствора аммиака:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/RT} \quad (3)$$

Учитывая максимальные степени умягчения воды (полученные опытным путем), на основании уравнения (1) определено время контакта на границе раздела фаз. Для максимальной степени умягчения водопроводной воды 27 %, которая достигается по истечению 7 дней после применения интенсивного перемешивания, необходимое время для перемешивания (время контакта фаз) составляет 41,1 сек. При степени умягчения водопроводной воды на 72 %, после применения интенсивного перемешивания и воздействия водного раствора аммиака время контакта фаз – 43,5 сек. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты кинетических расчетов интенсивного перемешивания водопроводной воды с применением водного раствора аммиака и без применения водного раствора аммиака

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением аммиака
Порядок реакции, n	0,79	0,12
Энергия активации, E (кДж/моль)	31,8	29,5
Степень умягчения раствора воды, %	27	72

В результате проведенных термодинамических расчетов, с применением уравнения изменения свободной энергии Гиббса, был определен радиус зародыша кристалла, образованный после интенсивного перемешивания с применением водного раствора аммиака, зависящий от движущей силы процесса (окислительно-восстановительного потенциала). Распределение размера зародыша при известной энергии активации, равной 29,5 кДж/моль, представлено на рис. 1.

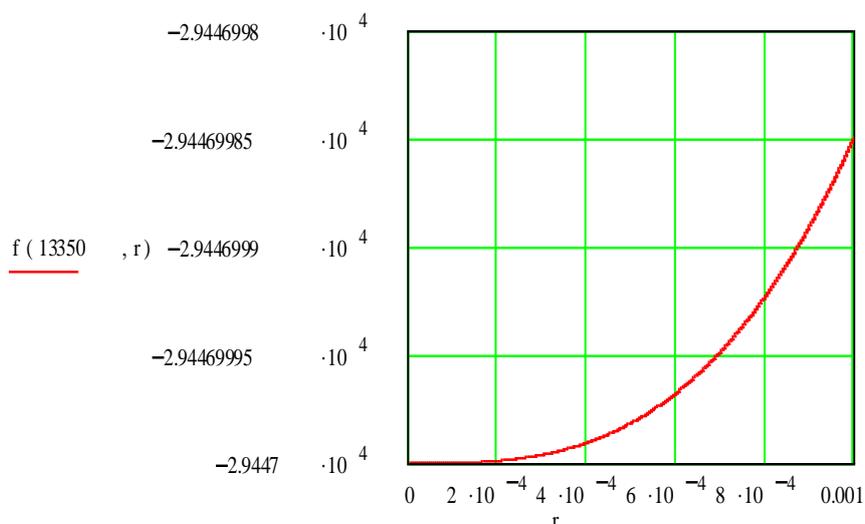


Рис. 1. График распределение размеров зародыша кристаллов

$$G = V \cdot \frac{\rho}{M} \cdot (\mu_2 - \mu_1) + \sigma \cdot S \quad (4)$$

где, V – объем вещества новой фазы; ρ – плотность; M – молекулярная масса; μ_1, μ_2 – химические потенциалы; σ – удельная свободная поверхностная энергия границы зародыша со средой; S – площадь поверхности зародыша.

$$E = 29447;$$

$$f(\Delta\mu, r) := (2711/75) \cdot \pi \Delta\mu r^3 - E + (73/250) \cdot \pi r^2;$$

$$r: = 0,1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-3}.$$

Результаты расчета радиуса зародыша представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета радиуса зародыша

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением водного раствора аммиака
Свободная энергия Гиббса, кДж/моль	-74
Энергия активации, кДж/моль	29,5
Движущая сила процесса, μ , мВ	133
Радиус зародыша, мкм	0,89

Выводы

В результате проведенного исследования было установлено время контакта фаз, необходимое для умягчения воды до 76 %, оно составило 43 с, размер зародыша кристалла, образованный в результате воздействия 0,072 % мас. аммиака и интенсивного перемешивания составил 0,89 мкм, среднеквадратичный диаметр частиц – 1,419 мкм.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества»; Введ 01.07.2002 г.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
3. Федосова Н.Л. Химические основы полимеров и вяжущих веществ: сборник задач и упражнений: учебное пособие / Н.Л. Федосова, В.Е. Румянцева. – М.: АСВ, 2005. – 176 с.
4. Волкотруб Л.П. Питьевая вода Томска. Гигиенический аспект / Л.П. Волкотруб, И.М. Егоров. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 195 с.
5. Мазаев В.Т., Шлепнина Т.Г., Мандрыгин В.И.. Контроль качества питьевой воды. – М.: Колос, 1999. – 168 с.
6. Шечков Г.Т. Физикохимия процессов получения неорганических солей с регулируемыми свойствами // Учебное пособие, Барнаул. – 1989 г. – 81 с.
7. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств: учебное пособие – М.: Машиностроение, 1969. – 381 с.
8. Куликова М.В., Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Прокудин И.А., Кудрин О.А. Станция питьевого водоснабжения для малых поселков // Известия Томского политехнического университета. Томск, 2010. – Т. 317, Вып. 3. – С. 222–226.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРИБОРА СОЗДАНИЯ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ОБЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Сечин А.И., д.т.н., профессор,
e-mail: sechin@tpu.ru

Мезенцева И.Л., ст. преподаватель,
e-mail: mezenceva@tpu.ru

Сечин А.А., к.т.н., доцент,
e-mail: seanal@tpu.ru

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Одним из наиболее распространенных энергоресурсов является уголь, при добыче, транспортировке и хранении которого постоянно присутствуют возможности самовозгорания и взрыва [1]. От момента добычи и до момента использования угля проходит некоторое время, в течении которого физико-химические свойства угля претерпевают значительные изменения, находясь под воздействием атмосферного воздуха и воды. Поэтому определение сертификационных показателей топлива является актуальным.

В [2] описаны установки, на которых определяют различные показатели взрыва пылевоздушных и газовых смесей, но не определяют характер горения. Авторы [3–5] значительно усовершенствовали базовый метод и установку до уровня позволяющего проводить исследования, как бедных, так и богатых топливных составов. Основной целью исследования ставилось: разработка метода и прибора создания аэродисперсных облаков с целью контроля и диагностики процессов горения с различной плотностью пылевоздушного облака.

Экспериментальная установка, представленная на рис. 1 состоит из следующих элементов: блоки управления и регистрации, блок формирования пневматического импульса и реакционной камеры определенных размеров, блок регулирования температурой источника. В основе установки изначально оставалась компоновка, представленная в [3–5], но изменились ее узлы и возможности. Практически это новый прибор, позволяющий формировать пылевоздушные облака с заданной плотностью, с целью изучения вопросов зажигания и формирования фронта горения гетерогенных систем.

Блок формирования пневматического импульса состоит из компрессора (рис. 1), двух запорных вентилялей, воздушного ресивера с манометром, электромагнитного крана включения распыления, форсунки совмещенной с верхним фланцем в верхней его части, выполненным в виде распылительного конуса и форкамеры, которая состоит из корпуса, крышки и форсунки (рис. 2).

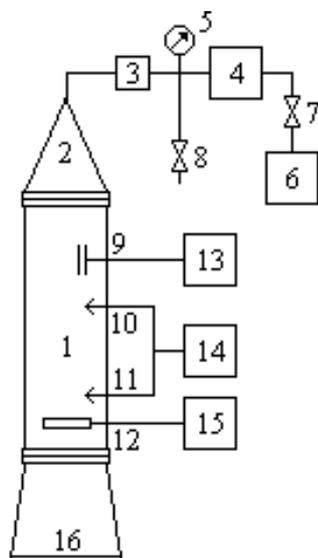


Рис. 1. Схема экспериментального прибора контроля и диагностики свойств композиционных составов из низкосортных углей:

- 1 – камера распыления факела;
- 2 – распылительный конус верхнего фланца;
- 3 – электромагнитный клапан подачи распылительного импульса;
- 4 – ресивер сжатого воздуха; 5 – мановакуумметр; 6 – компрессор воздуха;
- 7, 8 – запорные вентиля; 9 – тензометрический датчик давления;
- 10, 11 – термодатчики на движение пламени;
- 12 – источник иницирования горения;
- 13 – тензометрическая станция регистрации роста давления с осциллографом;
- 14 – многоканальный самописец Н-338-6П;
- 15 – блок регулирования температурой источника иницирования горения;
- 16 – опора прибора

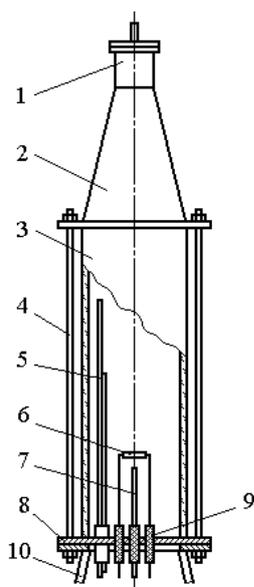


Рис. 2. Испытательная камера:

- 1 – форсунка с объемом размещения образца;*
- 2 – распылительный конус;*
- 3 – взрывной стеклянный цилиндр, формирующий реакционный объем;*
- 4 – крепежные стержни;*
- 5, 7 – термопары; 6 – спираль накаливания;*
- 8 – нижний фланец; 9 – фторопластовые вводы;*
- 10 – подставка*

Угольная навеска определенной массы помещается в форсунку, взвихривается и подается через конус под действием кратковременного импульса сжатого воздуха в реакционный объем камеры. Формируется пылевоздушное облако с равномерно распределёнными частицами смеси исследуемого угля.

Блок управления состоит из электронной части, отвечающей за одновременное срабатывание источника зажигания и включение регистрации показаний на многоканальном самописце, и источника инициирования горения.

В момент начала проведения эксперимента включается тумблером реле времени ВЛ-34У4, за 10 секунд разогревается спираль, после чего происходит срабатывание электромагнитного клапана, линия задержки выдерживает его в открытом состоянии заданное время и по истечению 11 секунд происходит автоматическое отключение источника зажигания.

В то же время срабатывает блок регистрации, который включает в себя тензодатчик с тензометрической станцией регистрации роста давления УТ-4 и запоминающим осциллографом С8-12, и многоканальный самописец Н-338-6П, снабженный термопарными датчиками для контроля температуры источника инициирования горения и распространения пламени. Запись ведется на диаграммной ленте самописца Н-338-6П, с единой временной отсечкой.

Необходимая температура источника зажигания достигается за 10 с благодаря блоку регулирования температурой источника инициирования горения.

Рассев образцов проводился на вибрационном сите. Навески взвешиваются на лабораторных весах общего назначения по ГОСТ 24104-80 с наибольшим пределом взвешивания 0,2 кг, класс точности 2. Все эксперименты проводят с образцами следующих фракций: 0–63 мкм, 63–100 мкм, 100–160 мкм, 160–200 мкм, 200–250 мкм, 250–315 мкм. Остаток на сите 315 мкм не используют. Испытания начинают с самой мелкой пыли – с фракции 0–63 мкм, так как чаще оказывается, что мелкая пыль опаснее крупной.

В представленном экспериментальном приборе контроля и диагностики свойств композиционных составов из низкосортных углей и углеотходов выполняются ранее не учитываемые критерии:

- Геометрия реакционного объема, в котором формируется пылевое облако с равномерно распределенными частицами в объеме, соответствует $\alpha = 1$ (стехиометрия) по соотношению топлива и окислителя, что позволяет моделировать основные производственные концентрации при сжигании углей в тепловых энергоустановках.

- Предоставляется возможность визуального наблюдения процессов горения угольного облака.

- Имеется возможность изучения диапазона концентраций от 0,8а до 1,3а. (Исследуются бедные и богатые смеси композита).
- Источник инициирования горения имеет возможность варьирования температурой зажигания в пределах от 800 до 1200 °С.

Методика проведения исследований вобрала в себя все передовые элементы от подобных аналогов, экспериментальное определение коэффициента избытка воздуха, является важнейшей характеристикой эффективности сжигания топлива, а варьирование некоторыми параметрами и моделирование факельного сжигания в реакционной камере, выполненной из стекла, позволяет визуально наблюдать и фиксировать процесс горения.

Специалисты считают, что коэффициент избытка воздуха является важнейшей характеристикой эффективности сжигания топлива и зависит от вида сжигаемого угля, его состава, способа подачи воздуха в топочное устройство и от самого вида этого устройства.

В предварительно герметизированной реакционной камере проводят холостой опыт с начальным избыточным давлением в ресивере 50,7 кПа и при включенных блоках регистрации и инициирующего источника зажигания, температура которого устанавливается 1050 °С. В дальнейшем полученные показания этого опыта используют для сравнения с показаниями рабочих опытов.

Навеску анализируемой угольной пыли готовят с точностью 10^{-6} кг и проводят испытание на воспламенение. Для этого навеску исследуемого угля весом $5 \cdot 10^{-5}$ кг помещают в форсунку, плотно завинчивают крышку, накачивают компрессором воздух в ресивер до 50,7 кПа, фиксируя по манометру, включают регистрационный блок в режим регистрации и осуществляют пуск установки.

Если пламя распространилось до верхней термопары и выше, и произошел отличный от холостого опыта рост давления, то опыт считается положительным, в противном случае или в случае отсутствия одного из показателей (распространения пламени до верхнего фланца камеры или отсутствие роста давления) считается отказом.

Далее вскрывается форсунка и проверяется наличие или отсутствие исследуемой угольной пыли. При наличии остатков распыленного вещества опыт повторяют, увеличивая величину распыляющего импульса на 10,1 кПа до тех пор, пока форсунка не будет оставаться пустой, что говорит о полном распылении образца. В случае отсутствия распыляемого вещества в форсунке, опыт повторяют с прежней навеской, уменьшая величину распыляющего импульса на 10,1 кПа. Благодаря этому определяется оптимальный распыляющий импульс для данной навески конкретного вещества.

Если воспламенение и распространение пламени не обнаружено, то навеску увеличивают на $5 \cdot 10^{-2}$ г. Получив положительный результат при очередной навеске, начинают искать предельные условия распространения пламени, уменьшая или увеличивая навеску на 10^{-2} г. Так поступают до тех пор, пока не будут найдены две концентрации пыли, различающиеся не более чем на 10^{-2} г, при одной из которых происходит воспламенение, а при другой отказ.

Наличие или отсутствие воспламенения при найденных концентрациях проверяют серией контрольных экспериментов. Их проводят не менее 10, с навеской, не дающей воспламенения. В случае одного воспламенения в серии контрольных опытов, величину навески понижают на 10^{-2} г, и так до тех пор пока не получают всю серию не воспламенения аэрозвеси. После проведения каждого опыта источник зажигания отключают, снимают нижний фланец и очищают реакционную камеру от осевшей пыли и продуктов сгорания, продувают ее сжатым воздухом.

Определяя область горения пылевой взвеси при изменении температуры инициирующего источника зажигания, эксперимент проводят по вышеизложенной методике. Температуру источника зажигания понижают на 50 °С. Определив при этой температуре все критические характеристики, ее вновь понижают на ту же величину 50 °С. Так поступают до тех пор, пока пылевая взвесь не перестанет воспламеняться, а горение распространяться по всему объему реакционной камеры.

Экспериментальная проверка распределения концентрации по сечению пылевого облака проводилась по методу Уилтона путем отбора проб из потока [6]. Данный метод позволяет получить достаточно точные результаты о величине концентрации пыли в любой точке потока.

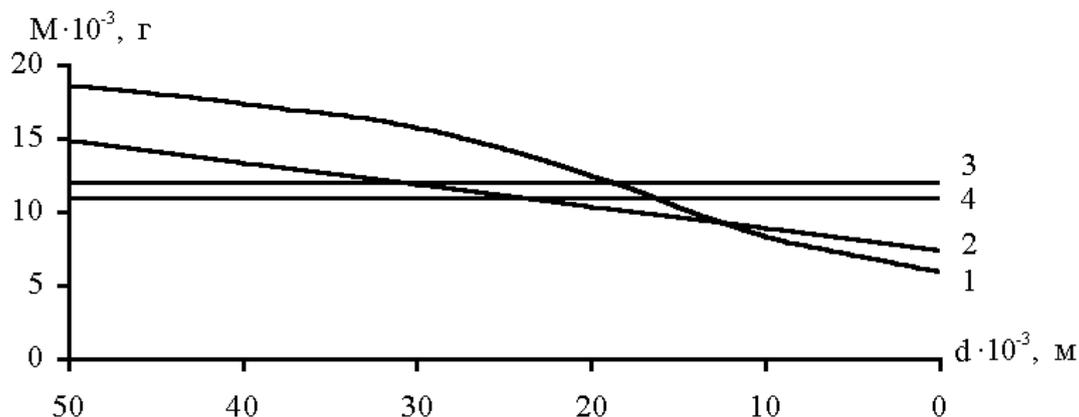


Рис. 3. Зависимость изменения величины концентрации аэрозвеси по сечению потока для диаметра камеры 0,1 м; и высоты отбора проб: 1 – 0,2 м; 2 – 0,3 м; 3 – 0,4 м; 4 – 0,5 м; 5 – 0,6 м

В результате проведенных исследований был сделан вывод о геометрии реакционного объема, высота которого составляет не менее 0,5 м, а его оптимальный диаметр – 0,1 м.

Так же было установлено, что разработанный метод и установка позволяют проводить исследования, как бедных, так и богатых топливных составов. Устойчиво формируя аэродисперсные угольные облака с различной плотностью дисперсной фазы, что позволяет поэтапно изучать процесс горения, который разбивается на два этапа. Первый этап горения аэрозвеси проходит в газовой фазе. Следующий этап горения проходит после распада тяжелых жидкофазных молекул и углеродного остатка.

Это говорит о том, что разработанный метод и прибор создания аэродисперсных облаков с целью контроля и диагностики процессов горения, позволяет изучать процесс инициирования зажигания и горения аэрозвеси угольного топлива, который является определяющим в процессе развития фронта горения в газодисперсном облаке.

Список литературы

1. Fischer Ch., Li J., Wu J., Erhler Ch., Jiang W., Guo Sh., Yang B. Detection, analysis and risk assessment of coal fires in northern China // Proc. 'Dragon 2 Final Results & Dragon 3 KickOff Symposium' Beijing, P.R. China (ESA SP-704, January 2013) [Электронный ресурс]. – URL: Fischer_et_al_Coalfires.pdf (дата обращения: 01.11.2024).
2. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Дата введения: 1991-01.01 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 01.11.2024).
3. Сечин, А.А. Разработка интенсивного и взрывобезопасного процесса сушки лекарственных препаратов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.А. Сечин; Томский политехнический университет; науч. рук. С.А. Бабенко Томск: [б. и.], 2002. – 1 файл (451 Kb). – URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/a/2002/35.pdf> (дата обращения: 01.11.2024).
4. Сечин А.И., Патраков Ю.Ф., Сечин А.А. Методика экспериментального определения пределов распространения пламени по пылевоздушным смесям // Горный журнал, 2017. № 12. С. 87–90.
5. Patrakov Y.F., Sechin A.I., Sechin A.A. Experimental range test of flame spread in dust-air mixtures. J. Min. Sci. 55 (2019). – 494–498.
6. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, 1969. – 427 с.

ПОДГОТОВКА ОГNETУШАЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ВОДОГАЗОВОЙ СМЕСИ (ЭМУЛЬСИИ)

*Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,
Штенцов Д.Г., аспирант
Сечин А.И., д.т.н., проф.,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел. 8(923)-421-29-97
e-mail: chemy@tpu.ru*

Техносферная безопасность является одной из важнейших задач, которую необходимо соблюдать и развивать. Включая в себя вопросы экологической безопасности, она постоянно ставит задачи перед другой составляющей – промышленной и пожарной безопасностью [1]. Вопросы обеспечения пожарной безопасности, не нарушая экологических нормативов, являются большой актуальностью.

Многие огнетушащие вещества, такие как пены, порошки, содержат в себе вещества, достаточно опасные как для человека и животных, так и для растений, и способны загрязнять окружающую среду. Некоторые порошки, попадая в пламя, разлагаются с образованием токсичных соединений – аммиака, диоксида углерода, оксида фосфора, азота [2].

Поэтому возникает потребность в поиске альтернативного огнетушащего вещества, сочетающего в себе такие показатели, как эффективность, экономическая выгодность и экологическая безопасность. Наиболее подходящим в этом плане следует считать самое распространенное огнетушащее вещество – воду. Для воды применяются различные добавки, способствующие улучшению ее огнетушащих свойств. К одним из таких веществ относятся водные растворы жидкого стекла [3]. Целью исследования являлось: подготовка огнетушащего состава на основе водогазовой смеси (эмульсии).

Требуемая задача осуществляется тем, что огнетушащий состав, в котором содержится вода и загущающая примесь. Загущающей примесью выступает жидкое стекло, модуль которого имеет значения в диапазоне 2,5–3,2. Необходимо соблюдение следующего соотношения компонентов (% мас.): Вода 50–95; Жидкое стекло 5–50.

Жидкое стекло представляет собой вязкую жидкость. Общая химическая формула:



где R_2O – оксид щелочного металла, m – модуль жидкого стекла.

Плотность жидкого стекла составляет 1400–1500 кг/м³, а коэффициент динамической вязкости до 1 Па·с. [4] Жидкое стекло способно смешиваться с водой в любых соотношениях. В случае содержания в огнетушащем составе в обусловленном диапазоне от 5 % до 50 %, происходит изменённые вязкости раствора в диапазоне от 0,004 Па·с до 0,5 Па·с, с изменением плотности раствора в промежутке от 1020 кг/м³ до 1250 кг/м³. [5] В таком случае, жидкое стекло с абсолютной уверенностью можно отнести к веществам, которые наиболее повышают вязкость воды, а именно, к загущающим веществам. В данном диапазоне концентрации такого стекла с добавлением водного раствора, вязкость значительно повышается в 4–500 раз по отношению с вязкостью воды. Это изменение вязкости водных растворов, которые используются при тушении пожаров фактически недостижимо, в случае использования органических или неорганических загустителей [6].

Получившийся слой плотной неорганической пены имеет низкий коэффициент теплопроводности и находится в диапазоне от 0,03 до 0,036 Вт/м·К и прекращает прогрев затухающей границы до температуры воспламенения за счет быстрого уменьшения движения теплового потока, который образуется при излучении огня и тепла, образовавшихся дымовых газов [7]. Такая пена способна сохранять свою особенную структуру и свойства при нагревании до температуры, не

превышающей 550 °С, а в случае превышения данной температуры происходит частичное плавление верхнего слоя пены и уплотнение. В процессе плавления наружного слоя пены тратится определенное количество тепла. Прошедшие испытания подтвердили большую эффективность использования предложенного огнетушащего состава. Такой состав возможно использовать для тушения пожаров, которые относятся к классам А, В, С.

Растворы жидкого стекла разумно использовать при тушении пожаров на скважинах на нефть и газ. При тушении пожаров возникших при разливах нефти, струю предполагаемого раствора подаваемого на место горения требуется диспергировать



Рис. 1. Орошение очага возгорания раствором



Рис. 2. Результат тушения раствором жидкого стекла

На рис. 1 представлена струя распыла из огнетушителя. Хорошо видно что в распыляемой струе наблюдается процесс коалесценции, существенно влияющий на успешное тушении ЛВЖ и других горючих жидкостей с удельным весом меньшим чем удельный вес огнетушащего состава.

При испарении воды из раствора на поверхности горения жидкое стекло образует вязкопластичную изолирующую плёнку, которая под действием высокой температуры вспенивается и образует пористый изолирующий слой из неорганической пены (рис. 2).

Исследования проводили на установке, блок-схема которой представлена на рис 3.



Рис. 3. Блок-схема исследовательской установки

Дальнейшие исследования показали возможность в получаемый кластер раствора поместить до 45 % объема газовой фазы, которую водогазовая струя надежно доставляет в очаг пожара.

В результате проведенного исследования показана эффективность нового огнетушащего состава, а так же разработана установка его подготовки на основе водогазовой смеси (эмульсии).

Список литературы

1. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1970. – С. 64–72.
2. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. – 713 с.
3. Сычев М.М. «Неорганические клеи». – Л.: Химия, 1986. – С. 26–37.
4. Пат. РФ № 2275951 Водный раствор для тушения пожаров / В.А. Лотов, А.П. Смирнов, Л.Г. Лотова; опубл. 10.05.2006 // Бюл. 2006, № 13.

5. Способ изготовления противопожарного остекления: патент Рос. Федерация № 2361995; заявл. 24.06.2004; опубл. 20.07.2009, Бюл. № – 20 с.
6. Сычев М.М. Неорганические клеи. Л.: Химия, 1986. – С. 26–37.
7. Лотов В.А., Смирнов А.П. , Лотова Л.Г. Водный раствор для тушения пожаров. Патент на изобретение № 2275951.
8. Буймов Я.Е., Мартынова А.В. Прозрачный терморазбухающий гель для противопожарного остекления // Молодежь наука технологии: идеи и перспективы (МНТ-2014): Материалы I Международной научной конференции студентов и молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 243–244.

СЕКЦИЯ 6
СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

СОВРЕМЕННЫЕ РЕВОЛЬВЕРНЫЕ ГОЛОВКИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Дыров Н.¹, Кухта М.С.²

*¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31
e-mail: dyrov01@tpu.ru*

*²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор
e-mail: kuhta@tpu.ru*

Револьверная головка – это инструментальная система токарного станка, которая несет функцию хранения и выбора инструмента для последующей обработки. В револьверной головке устанавливают и закрепляют несколько инструментов или инструментальных приводных блоков с вращающимися инструментами, будь то фрезы, метчики, развертки, сверла, центровки, цековки, зенкера и т. д.

Смена инструмента и его позиционирование в рабочую позицию происходит за счет поворота, значение которого задано в управляющей программе. В зависимости от количества, устанавливаемого в головку инструмента, револьверные головки делятся на 6-ти, 8-ми, 12-ти и 16-ти позиционные.

Приведем классификацию револьверных головок. По принципу действия различают следующие револьверные головки:

1. Гидравлические револьверные головки.

Они оснащены гидравлическим приводом, который обеспечивает быструю и точную смену инструментов. Такие головки работают по принципу преобразования гидравлического давления в механическое движение, что обеспечивает плавное и стабильное перемещение инструментов к рабочему положению.

Преимущества:

- Высокая скорость смены инструментов;
- Высокая точность позиционирования;
- Возможность использования на высокоскоростных станках;
- Высокая грузоподъемность (могут использоваться для обработки крупных и тяжелых деталей).

Недостатки:

- Высокие затраты на обслуживание;
- Сложная система управления.

2. Револьверные головки с сервоприводом.

Эти головки используют моторы с сервоприводом для перемещения инструментов к рабочему положению. Они обеспечивают высокую точность и динамичность перемещения.

Преимущества:

- Высокая скорость реакции;
- Точное позиционирование;
- Возможность программного управления.

Недостатки:

- Высокая стоимость в сравнении с другими типами;
- Необходимость регулярного обслуживания и калибровки.

3. Электромеханические револьверные головки.

В таких головках используются электромеханические приводы для перемещения инструментов. Они обладают высокой точностью и плавностью движения, что обеспечивает качественную обработку деталей.

Преимущества:

- Высокая точность позиционирования;
- Низкий уровень шума и вибраций;
- Возможность энергосбережения и программного управления.

Недостатки:

- Высокие затраты на приобретение и обслуживание;
- Необходимость наличия электрической инфраструктуры для работы.

Также револьверные головки классифицируются по типу крепления инструментальных блоков. На сегодняшний день выделяют 2 типа:

- Европейская система крепления VDI с типами размерности 16, 20, 30, 40, 50, что соответствует посадочному диаметру блока;
- Азиатская система крепления BMT с типами размерности 45, 55, 65, 75, 85, что также соответствует посадочному диаметру блока.

Благодаря револьверным головкам, скорость изготовления продукции увеличивается в разы, за счет увеличения машинного времени и уменьшения времени на переналадку. И, как это часто бывает на производстве и просто в жизни, чем правильнее выбор револьверной головки, тем больше пользы она и принесет. Давайте рассмотрим характеристики револьверных головок, на которые обязательно нужно обратить внимание при выборе.

- Максимальные и минимальные размеры обрабатываемой заготовки, возможность ее установки в суппорт и в центрах;
- Скорость смены резцов. Эти характеристики будут влиять на производительность конкретной модели и ее применение;
- Наличие и диаметр сквозного отверстия, используемого для токарной обработки длинных цилиндрических заготовок;
- Параметры подачи суппорта – максимальное смещение в продольном и поперечном направлениях, значения для одного шага;
- Точность позиционирования режущего инструмента. Возможно формирование различных типов резьбы, таких, как дюймовые, метрические и притчевые. Их характеристики обязательно должны быть указаны в паспорте оборудования;
- Масса головок может составлять от 36 до 460 кг.

Теперь давайте рассмотрим, какой внешний вид сегодня имеют револьверные головки. На рис. 1 представлены современные револьверные головки.



Рис. 1. Современные револьверные головки

Рассматривая их, можно вывести некоторые схожие черты и закономерности. На всех 4 картинках вращающаяся планшайба с инструментами имеет похожий вид и на всех 4 картинках они отличны от неподвижной части по цвету. Так же форма корпуса револьверных головок на всех 4 картинках похожа и напоминают просто квадратную коробку. На мой взгляд, именно с формой корпуса можно и нужно поработать. Добавить, например скругленных элементов, плоскостей не перпендикулярных поверхности там, где корпус не соприкасается с местом установки. Ведь не во всех станках корпус револьверной головки скрыт. Так, он выглядит очень массивным. Я уверен, что внутри там достаточно много пустого места, как раз таки из-за этих углов. Что касается цвета корпусов, на картинках только 2 цвета корпуса, белый и, наверное, лиловый, но на просторах интернета можно встретить множество вариаций, мне кажется, что некоторые производства даже сами красят револьверные головки, но это только мои догадки.

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. Револьверные головки для станков с ЧПУ // AVEREX. – URL: https://machine-service.ru/turret_hydraulic_cam_type_lathe_turret_servo_turret_powered_turret (дата обращения: 18.04.24).
3. Виды, особенности конструкции револьверной головки токарного станка // Все о станках. – URL: <https://vseostankah.com/tokarnyj-standok-po-metallu/s-chpu-vidy-revolvernoj-golovki.html?ysclid=lv2dq91frm889311541> (дата обращения: 18.04.24).
4. Револьверные головки // Оснастка и станки. – URL: <https://tomsk.osnastka-s.ru/stati/74-revolvernnye-golovki-vsjo-chto-nuzhno-znat> (дата обращения: 18.04.24).

ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Казак А.К.¹, Кухта М.С.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: akk26@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор

e-mail: kuhta@tpu.ru

Дизайн станка для металлообработки играет важную роль в эффективности и безопасности процесса обработки металла. Вот несколько ключевых аспектов, которые следует учитывать при проектировании станка для металлообработки:

1. Жесткая и прочная конструкция: Станок должен иметь жесткую и прочную конструкцию, чтобы обеспечить стабильную обработку металла и предотвратить вибрации во время работы.

2. Удобство использования: Дизайн станка должен быть удобным и эргономичным для оператора. Например, управляющие элементы и пульт управления должны быть расположены так, чтобы оператору было удобно доступ к ним.

3. Технологичность: Современные станки для металлообработки обычно оснащаются ЧПУ системами, что позволяет автоматизировать процесс обработки и повысить его точность.

4. Безопасность: Дизайн станка должен соответствовать стандартам безопасности, чтобы минимизировать риски для оператора. Это может включать в себя защитные кожухи, системы автоматического выключения в случае аварии и другие меры безопасности.

5. Возможности расширения: Станок должен иметь возможность расширения или модернизации, чтобы соответствовать изменяющимся потребностям производства.

6. Эффективность: Дизайн станка должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить высокую производительность и экономичность процесса обработки металла.

7. Минимизация отходов и загрязнений: Станок должен быть спроектирован таким образом, чтобы минимизировать отходы и загрязнения, связанные с процессом обработки металла.

Учитывая эти аспекты при дизайне станка для металлообработки, позволит создать эффективное и безопасное оборудование, которое отвечает современным требованиям производства металлических изделий.

Токарные станки с ЧПУ (числовым программным управлением) – это инновационные технологии, которые значительно улучшают качество и производительность производства. Эти станки обеспечивают точность и скорость обработки деталей, что делает их незаменимым средством для современных производственных процессов. В данной статье мы рассмотрим основные принципы дизайна современного токарного станка с ЧПУ и его преимущества.



Рис. 1. Токарный станок с ЧПУ

Одной из основных особенностей современных токарных станков с ЧПУ является их конструкция. Она разработана таким образом, чтобы обеспечить максимальную точность и надежность работы. Рама станка изготовлена из прочных и легких материалов, что позволяет минимизировать вибрации и повысить стабильность процесса обработки. Кроме того, современные станки оборудованы высокоточными шпинделями и приводами, которые обеспечивают максимальную эффективность работы.

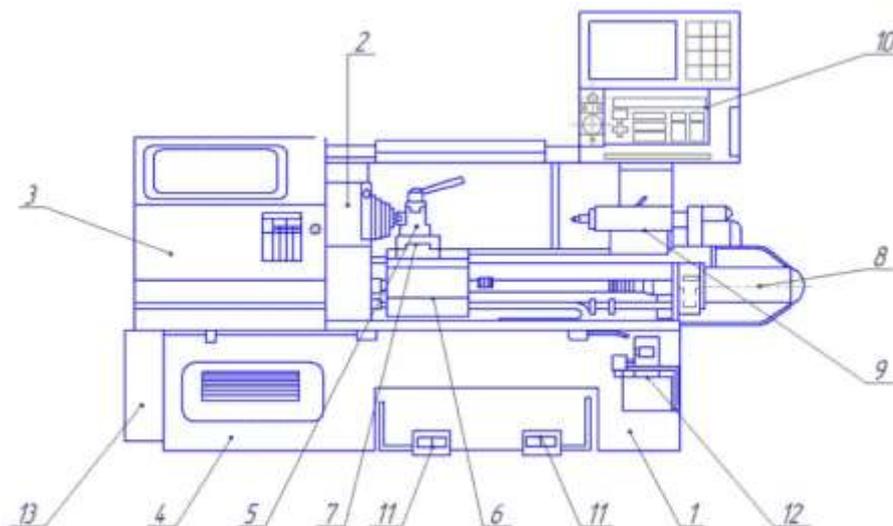


Рис. 2. Состав токарного станка с ЧПУ

На рис. 2 представлена стандартная схема токарного станка, оснащенного системой ЧПУ, и он включает в себя:

- 1) станина;
- 2) шпиндельная бабка;
- 3) кожух;
- 4) коробка передач;
- 5) резцедержатель;
- 6) продольный суппорт;
- 7) поперечный суппорт;
- 8) привод продольный передач;
- 9) бабка задняя;
- 10) устройство ЧПУ;
- 11) педаль включения (выключение) станка;
- 12) привод поперечный подач;
- 13) насос подачи охлаждения.

Еще одним важным аспектом дизайна токарного станка с ЧПУ является программируемое управление. Благодаря специальному программному обеспечению, оператор может создавать и изменять программы обработки деталей, что позволяет быстро и легко настраивать станок под конкретные задачи. Благодаря этому возможно изготавливать сложные и многоуровневые детали с высокой скоростью и точностью.

На рис. 3 изображены две стойки от разных производителей, FANUC и HEIDENHAIN, которые устанавливаются в зависимости от того, чей будет станок

Еще одним важным преимуществом современных токарных станков с ЧПУ является их автоматизация. Они оснащены современными датчиками и системами контроля, которые позволяют оператору следить за процессом обработки и предотвращать возможные ошибки. Благодаря этому возможно сократить потери времени и материалов, что в свою очередь повышает производительность и экономическую эффективность производства.



Рис. 3. Стойки токарных станков с ЧПУ

Таким образом, дизайн современного токарного станка с ЧПУ представляет собой сложную и инновационную систему, которая обеспечивает высокую эффективность и качество производства. Он объединяет в себе современные технологии и законы механики, что позволяет производить сложные и качественные детали. В результате использования этих станков возможно увеличить производительность и экономическую эффективность производства, что делает их необходимыми для современной промышленности.



Рис. 4. Дизайн токарного станка с ЧПУ

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова,
2. Кирилин, Ю.В., Шестернинов А.В. Расчет и проектирование шпиндельных узлов металлорежущих станков с опорами качения. Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 71 с.
3. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: учебник: В 3 т. Т. 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др.; под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995.
4. Дерябин А.Л., Эстерзон М.А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. М.: Машиностроение, 1989.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДИЗАЙН РУКИ РОБОТА ГУМАНОИДА

Каличкин К.К.¹, научный руководитель Кухта М.С.²

¹ТПУ, ОАР ИШНПТ гр. 4НМ31,

e-mail: kkk4@tpu.ru;

²ТПУ, профессор ОАР,

e-mail: kuhta@tpu.ru

Актуальность разработки дизайна робота гуманоида с высоким количеством степеней подвижности обусловлена постоянным развитием робототехники и развитием нейросетевых программ. Гуманоидные роботы на данный момент всё ещё недостаточно функциональны и не могут в полностью взаимодействовать с окружающим их пространством. Современные модели представленные прототипы имеют огромное количество новых технических решений, но могут быть усовершенствованы путем разработки новых улучшенных приводов, а также применением новых конструкционных решений. Применение новых конструкционных решений позволит приблизиться к созданию гуманоидного робота способного в некоторой степени адаптироваться к окружающей среде на основе самообучаемой системы способной развиваться для решения задач.

Основной задачей гуманоидного робота является сокращение участия людей в особо опасных работах. Гуманоидные роботы благодаря особенности своего строения манипулятора могут взаимодействовать с инструментами человека.

Таблица 1

Анализ гуманоидных роботов

Модель	Привод	Тип манипулятора	Способ перемещения	Степени подвижности
ICUB	Механика	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	19
NAO	Механика	Трехпальцевый	Гуманоидные ноги	25
ISIMO	Сервопривода	Пятипальцевый и трехпальцевый	Гуманоидные ноги	57
Atlas Unplugged	Гидравлика	Отсутствует	Гуманоидные ноги	28
JUSTIN	Смешанный	Четырех пальцевый	Роликовый привод	25
REEM	Тросовой	Пятипальцевый	Гуманоидные ноги	44

Для успешного создания гуманоидного робота была проанализированы другие модели гуманоидных роботов (табл. 1).

1. Привод должен быть смешанным включая в себя гидравлику и сервопривода для максимальной эффективности гуманоидного робота.

2. Тип манипулятора обязан быть пятипальцевым с целью лучшего взаимодействия с окружающим миром.

3. Степеней подвижности робота должны быть аналогичны количеству степеней подвижности человеку.

4. Перемещаться робот должен на гуманоидные ногах.

После чего разработан наиболее успешный дизайн руки робота гуманоида

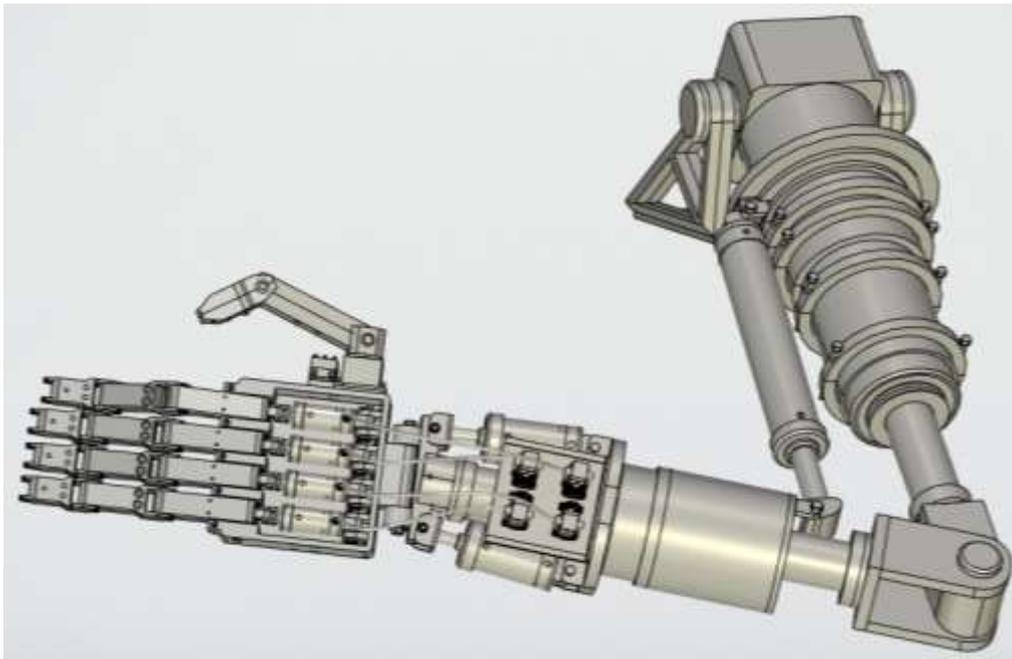


Рис. 1. Промышленный дизайн руки робота гуманоида

Представленная рука (рис. 1) полностью повторяет размеры человеческой руки. В движение руку приводят пневматические механизмы (рис. 2), состоящие из цилиндра и поршня приводимого в движение с помощью газа. При построении были соотнесены размеры элементов конструкции с размерами человеческой конечности. Предполагается использование композитного и полимерного материала для имитации тактильных ощущений. Известно, что в человеческой руке 27 степеней, в представленной руке андроида число степеней подвижности равняется 21, что хоть и меньше человеческой руки, но позволяет выполнять такие же функции. Конструкция руки такова, что при необходимости пневмопоршня можно заменить гидравликой без серьезных изменений в конструкции руки тем самым повышая силу сжатия.

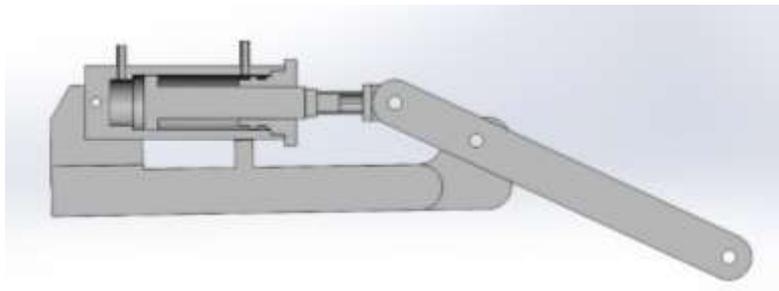


Рис. 2. Схема пневмопоршня руки гуманоидного робота

Формула давления в цилиндре на поршень

$$P_1 \times S_1 > P_2 \times S_2, \quad (1)$$

где P_1 – давление на направленное кольцо при выталкивании; S_1 – площадь направляющего кольца; P_2 – давление на направленное кольцо при возврате; S_2 – площадь направляющего кольца с цилиндром;

Давление газа

$$P_1, P_2 = 5 \text{ атмосфер.}$$

Площадь направляющих колец

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \times 12^2}{4} = 113,1 \text{ мм}^2 \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{4} = \frac{3,14 \times (12^2 - 7^2)}{4} = 74,575 \text{ мм}^2 \quad (3)$$

где d_1 – диаметр направляющего кольца; d_2 – диаметр стржня

Сила давления

$$P_1 \cdot S_1 = 5 \cdot 28,27 = 5,655 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (4)$$

$$P_2 \cdot S_2 = 5 \cdot 25,12 = 3,72875 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (4)$$

Таким образом получаем, что сила давления на сжатии равняется 5,655 кг · см, а на разжатие 3,72875 кг · см. В дальнейшем пневматика будет заменена на гидравлику, что увеличит силу сжатия руки.

Заключение

1. Разработка и применение гуманоидных роботов оказывает решающее значение на эффективность развития промышленного и социального устройства человеческого общества.

2. Решение современной проблемы малой мощности и высоких габаритов применяемых гидравлических и сервоприводов возможно только при разработке гуманоидных роботов, в том числе переход на качественно новые, обеспечивающие коренное повышение работоспособности.

3. При создании принципиально новых механических и информационных способов разработки гуманоидных роботов решится проблема безопасного использования человеческого труда и необходимости выполнения работы, сопряженной с высоким риском.

Список литературы

1. Кухта М.С. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.

2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учебник для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талашук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько; под ред. С.А. Васиной, А.Ю. Талашука. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с.

3. Курушин В.Д. Промышленный дизайн. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 560 с.

АНТИВИБРАЦИОННАЯ ДЕРЖАВКА

Нурмукаев К.Ж.¹, Кухта М.С.²

*¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31
e-mail: kzn1@tpu.ru*

*²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор
e-mail: kuhta@tpu.ru*

В настоящее время в области механической обработки существует множество типов демпфирующих устройств для подавления колебаний, возникающих при резании металла.

Вибрации в процессе резания бывают двух типов [1, 2]:

- вынужденные колебания, причиной возникновения которых является периодически действующая возмущающая сила;
- автоколебания – колебания, возникающие без действия внешней силы. Причиной автоколебаний является самовозбуждение в процессе стружкообразования.

Вынужденные низкочастотные колебания при резании могут быть вызваны дисбалансом вращающихся частей станка, приспособлений, заготовки и инструмента, неравномерным припуском или самим процессом резания. Способ борьбы с ними балансировка инструмента и заготовок.

С автоколебаниями бороться сложнее, так как сила, поддерживающая эти колебания, вызывается самим движением и исчезает при его прекращении. Автоколебания определяются источниками энергии, которые не обладают колебательными свойствами. Частота автоколебаний почти не зависит от режимов резания, а определяется жесткостью системы

Интенсивность вибраций зависит от режимов резания, геометрии режущего инструмента, жесткости технологической системы резания, демпфирующих способностей материалов режущего инструмента и заготовки. С увеличением ширины и уменьшением толщины режущей кромки инструмента интенсивность вибраций растет. Увеличение угла в плане приводит к уменьшению амплитуды автоколебаний. Существует критическая зона скоростей резания, в пределах которых автоколебания усиливаются [3].

В металлорежущем станке обычно рассматривают две основные колебательные системы: систему заготовки и систему режущего инструмента. Обе системы имеют различную частоту собственных колебаний, поэтому автоколебания при резании бывают двух видов:

- вибрации первого рода – низкочастотные (5...300 Гц) колебания заготовки;
- вибрации второго рода – высокочастотные (800...3000 Гц) колебания режущего инструмента [4].

Режущий инструмент для механической обработки, в целом, является динамическим устройством, в котором при работе возникают оба типа колебаний.

Эти колебания могут классифицироваться по их динамической жесткости.

Динамическая жесткость металлорежущего инструмента является мерой его сопротивляемости деформации и способностью демпфирования при конкретном типе деформации. Преобладающий динамический режим колебаний будет определять характеристики устройства для механической обработки.

В случае упругих вынужденных колебаний динамическая жесткость металлорежущего инструмента является мерой сопротивляемости деформации. При вынужденных упругих колебаниях пределом устойчивости является наибольшая глубина резания до потери устойчивости и начала вибрации.

При возникновении свободных колебаний в процессе обработки происходит неконтролируемое смещение положения режущей кромки инструмента и это является доминирующим при образовании микронеровностей поверхности.

Инструментальные системы для механической обработки, как правило, подвержены упругим вынужденным колебаниям, например, расточные и фрезерные державки с большим вылетом. Также вибрации возникают при прерываемом резании. В таких случаях общие характеристики устройства для механической обработки могут быть в значительной степени улучшены увеличением динамической жесткости режима упругих вынужденных колебаний.

Способы борьбы с автоколебательными вибрациями:

- рациональная геометрия режущего инструмента – применение виброгасящей фаски на передней поверхности;
- повышение демпфирующей способности колебательной технологической системы резания применением демпфирующих прокладок, специальных демпфирующих устройств – виброгасителей;
- повышение жесткости колебательной технологической системы резания: с увеличением жесткости повышается собственная частота колебательной системы и снижается вероятность возникновения вибраций, так как с увеличением частоты возрастает работа затухания системы;
- уменьшение массы колебательных систем, позволяющее повысить частоту и снизить интенсивность вибраций.

Таким образом, для увеличения динамической жесткости устройств для механической обработки:

- максимально уменьшают вылет режущего инструмента, что не всегда возможно из-за требуемой геометрии обрабатываемой поверхности;
- корпус инструмента изготавливают из более прочного материала, например, карбид вольфрама;
- в корпус инструмента включают поглотитель динамических колебаний в сочетании с упомянутыми выше мерами или без них.

Инструменты с большим вылетом часто используются при обработке на обрабатывающих центрах. Вибрации, возникающие при этом, можно значительно уменьшить используя antivибрационные оправки.

Известна конструкция борштанги для растачивания глубоких отверстий (рис. 1) [5]. В кольцевой полости корпуса 1 установлена гильза 3. Между поверхностями трубы 4 и гильзы 3 с ребрами 14 и создан зазор. Зазор заполнен виброгасящей жидкостью. В процессе резания возникают крутильные колебания, которые вызывают относительные угловые перемещения гильзы 3 и трубы 4, что изменяет зазор между боковыми поверхностями ребер 14 и 15, вызывая перетекание жидкости 13, вследствие чего и происходит гашение крутильных колебаний (рис. 1, б).

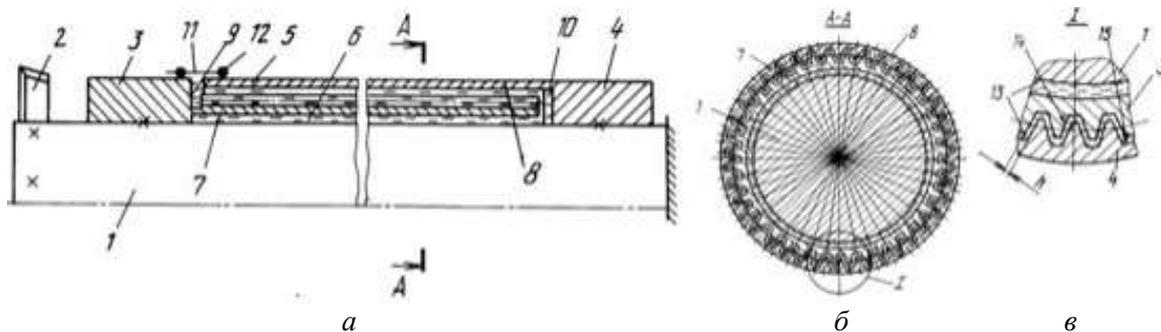


Рис. 1. Борштанга для растачивания глубоких отверстий

Аналогичным образом происходит гашение изгибных колебаний в любой плоскости, чему способствует также изменение объема кольцевых камер 9 и 10. Эффективность гашения колебаний пропорциональна величине боковых площадей ребер 14 и 15, вязкости виброгасящей жидкости 13 и величине зазора h .

Известен расточной инструмент [6], который содержит рабочую часть с режущей пластиной. С рабочей частью соединен корпус, имеющий полость. В полости размещено демпфирующее устройство. Устройство состоит из опорного полого стержня, на крайних частях которого зафиксированы опорные шайбы. К шайбам присоединены упругие элементы. На средней части опорного полого стержня установлен демпфирующий элемент с возможностью перемещения. Торцы демпфирующего элемента соединены с упругими элементами. При этом одна из крайних частей опорного полого стержня закреплена в корпусе, а другая – размещена в базовой части. Для увеличения демпфирующей способности демпфирующий элемент соединен со средней частью опорного полого стержня посредством резьбового соединения, причем во впадинах профиля резьбы средней части опорного полого стержня выполнен сквозной винтовой паз, а торцы демпфирующего элемента, соединенные с упругими элементами, выполнены ступенчатыми (рис. 2).

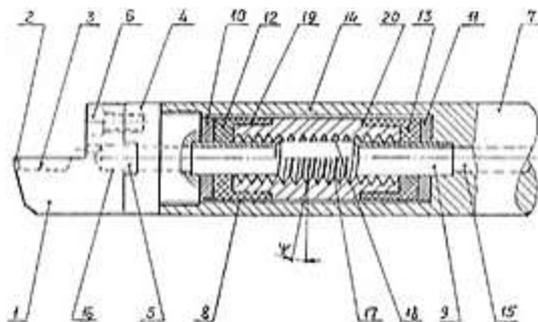


Рис. 2. Расточной инструмент

Для увеличения демпфирующей способности расточного инструмента угол подъема резьбы в соединении демпфирующего элемента со средней частью опорного полого стержня может быть выполнен больше угла самоторможения.

Известна расточная оправка [7] к выдвижным шпинделям расточных станков (рис. 3).

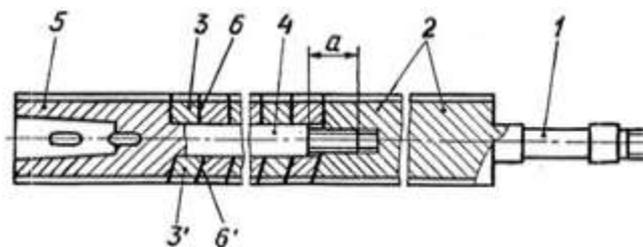


Рис. 3 Оправка к выдвижным шпинделям расточных станков

Задачей является получение предварительно напряженного держателя инструмента с высокими характеристиками жесткости на изгиб, кручение, сжатие и растяжение. Держатель содержит хвостовик, к которому стяжками присоединен элемент для закрепления режущего инструмента. На стяжках установлены наборы втулок или колец из жесткого и высокопрочного материала или материалов (рис. 4).

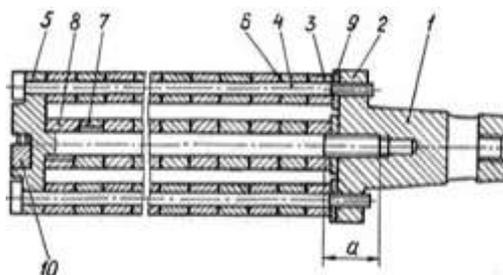


Рис. 4. Держатель инструмента

Известен держатель инструмента, такой как расточная головка или фрезерная оправка с демпфирующим элементом в виде удлиненного тела, установленного в полости и закрытой на своем конце приемным корпусом (рис. 5, поз. 4) расточной головки или элементом фрезерной оправки.

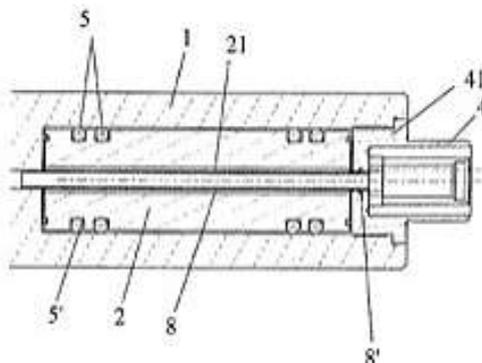


Рис. 5. Держатель с демпфирующим средством

Демпфирующий элемент представляет собой средство только радиального поглощения и снабжен по меньшей мере одним упругодеформируемым элементом вблизи каждого конца.

Известна оправка для чистовой обработки отверстий [9]. Оправка содержит корпус, в отверстии которого эксцентрично расположен резцедержатель, выполненный с возможностью поворота относительно продольной оси, резец и упругий элемент. При этом резцедержатель подпружинен в осевом направлении и в направлении поворота вокруг своей оси и другим концом взаимодействует с корпусом посредством резьбового соединения. Диск соединен со втулкой посредством тяги, шаг резьбового соединения втулки с корпусом выполнен большим, чем шаг резьбового соединения резцедержателя с корпусом (рис. 6).

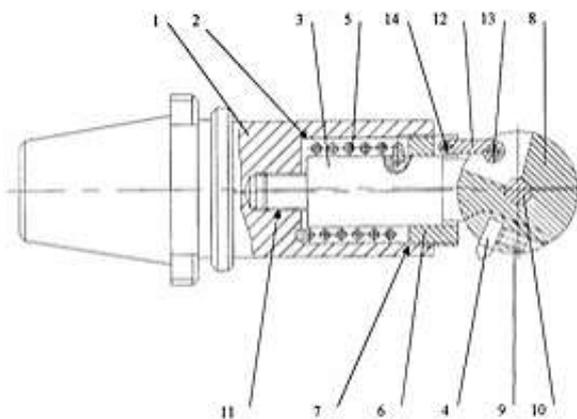


Рис. 6. Оправка для чистовой обработки отверстий

Выводы

Увеличение отношения между длиной и диаметром инструментальных оправок приводит к уменьшению динамической жесткости инструментальной оправки, и в этом случае возникают новые требования, предъявляемые к демпфирующему устройству – должна быть уменьшена частота демпфирующего тела. Для достижения этого требуются либо упругие элементы с более низким модулем упругости, либо демпфирующее устройство с более высокой массой.

1. Для увеличения массы необходимо увеличить объем демпфирующего тела. Это в результате приведет к проблемам, связанным с площадью, размером и ослаблением конструкции, где должно быть использовано демпфирующее устройство.

2. Для обеспечения возможности уменьшения модуля упругости необходимо либо принять материал упругого элемента с более низким модулем упругости или прочность упругого элемента должна быть соответственно уменьшена путем уменьшения размера элемента.

Следовательно, был сделан вывод, что известные решения, плохо пригодны для проведения разработки в направлении увеличенного соотношения длины и диаметра и более низкой собственной частоты для системы, колебания которой необходимо снизить, вследствие ограничений свойств материала, среди других причин.

При обработке материалов резанием часто используют высокие скорости вращения, и по этой причине также важно, чтобы демпфирующая система могла выдерживать быстрое вращение. Это также оказалось проблематичным при использовании устройств, соответствующих известному уровню техники.

Преимуществом обеспечения возможности получения более низкой частоты является то, что масса демпфирующего тела может быть уменьшена при достижении аналогичной собственной частоты, как и у существующих систем. Это делает предлагаемое решение более пригодным для использования в тех случаях, где демпфирующая система должна вращаться с высокой скоростью при возникновении значительных центробежных сил, например в случаях применения в технологических процессах высокоскоростного фрезерования.

Тот факт, что масса демпфирующего тела может быть уменьшена, является полезным в том отношении, что диаметр отверстия для внутреннего подвода смазочно-охлаждающей жидкости к режущей кромке, может быть увеличен. Преимуществом повышенного количества смазочно-охлаждающей жидкости является более эффективное отведение стружки от режущей кромки.

Список литературы

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
2. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. Том 6; под ред. К.В. Фролова – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
3. Защита от вибрации и ударов / под ред. К.В.Фролова. Ред. совет: В.Н.Челомей. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
4. Сирил М. Харрис, Чарльз И. Крид. Справочник по ударным нагрузкам. Сокр. пер. с англ. Н.А. Пэдуре. – Л.: Судостроение, 1980. – 359 с.
5. Патент РФ № 2014965 Борштанга для растачивания глубоких отверстий. Аслибеян С.Ф., Филин М.М., Ветров С.И., Мещеряков Р.К. – 1994.
6. Патент РФ № 2298456 Расточной инструмент Корюкина Н.А., 2007.
7. Патент РФ № 2109599 Держатель инструмента. Вождаенко В.В. [UA], Рабштына М.М. 1998.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

Сидоренко А.А.¹, Кухта М.С.²

*¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31
e-mail: aas292@tpu.ru*

*²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор
e-mail: kuhta@tpu.ru*

Электронно-лучевая сварка, обычно осуществляемая в техническом вакууме 10^2 – 10^4 Па. В электронной пушке формируется электронный пучок с большой плотностью энергии. Сфокусированные в плотный пучок летящие электроны ударяются с большой скоростью о малую, резко ограниченную площадку на изделии, при этом кинетическая энергия электронов, вследствие торможения в веществе, превращается в теплоту, нагревая металл до очень высоких температур. Под электронным лучом образуется расплав, который заполняет стык на всю глубину. Электроны одновременно воздействуют на металл по всей поверхности стыка. Для перемещения луча по свариваемому изделию на пути электронов помещают магнитную отклоняющую систему, позволяющую устанавливать электронный луч точно по линии сварки.

ЭЛС действует аналогично лазерной, только в отличие от светового луча пучок электронов невидим. Энергия его значительно превосходит лазер, площадь воздействия меньше. Все эти факторы минимизируют сварочные деформации и нежелательные структурные превращения, влияющие на механические свойства металла. Движение электронов в вакууме не сопровождается световыми эффектами и поэтому луч не виден, но его действие на вещество можно наблюдать по нагреву места бомбардировки, свечению люминофоров и т. п.

Наблюдение за процессом сварки необходимо для обеспечения высокого качества сварного шва, соответствия его требованиям стандартов и безопасности сварного соединения.

В процессе сварки нам необходимо наблюдать сварочную ванну, исходя из этого оператор, может определить провар двух материалов и дать оценку качеству сварного шва [2].

В случае ЭЛС, простыми способами это сделать невозможно. Так как для процесса сварки есть необходимость наличия вакуумных камер и действует вредное рентгеновское излучение, что пагубно влияет на здоровье человека.

Системы видеонаблюдения за процессом электронно-лучевой сварки в вакууме имеют особенности конструирования и дизайн-проектирования, которые позволяют обеспечить эффективное и надежное наблюдение за процессом сварки, происходящим в условиях вакуума.

Одной из особенностей таких систем является необходимость использования специальных видеокамер, которые способны работать в условиях высокого вакуума. Такие камеры должны быть устойчивы к радиационным воздействиям и иметь высокое разрешение, чтобы обеспечивать четкое изображение процесса сварки.

Еще одной особенностью является конструкция корпуса. Видеокамера должна быть полностью герметичной, чтобы предотвратить попадание в вакуум воздуха или других газов, которые могут повлиять на работу камеры. Материалы, используемые в видеокамере, должны быть способны выдерживать низкое давление, характерное для вакуумных условий. Форма корпуса должна быть эргономичной и компактной, т. к. габариты вакуумных камер ограничены.

Для обеспечения надежной передачи изображения на удаленный монитор системы видеонаблюдения, необходимо использовать специальные кабели и интерфейсы, которые способны работать в условиях вакуума и не подвержены влиянию электромагнитных помех.

Также важным аспектом конструирования системы видеонаблюдения для процесса электронно-лучевой сварки в вакууме является выбор оптимального места для установки ви-

деокамеры, чтобы обеспечить наилучший обзор за процессом сварки и минимизировать возможность блокирования обзора элементами оборудования.

Исходя из вышесказанного, разработка и реализация систем видеонаблюдения для процесса электронно-лучевой сварки в вакууме требует специального подхода и учета ряда особенностей, которые связаны как с условиями работы в вакууме, так и с особенностями процесса сварки.

Для разработки видеокамеры для наблюдения за процессом электронно-лучевой сварки в вакууме необходимо учесть, что трудностью является не только вакуумная среда, а еще сильное оптическое излучение из зоны сварки в широком диапазоне длин волн – от жесткого ультрафиолета, вызывающего помутнение оптики, до дальнего ИК, нагревающего все вокруг до высоких температур. Видеонаблюдение за процессом сварки осложняет сильный контраст изображения между яркой дугой и темным изделием.

Для решения проблем с излучением необходимо использовать интерференционные светофильтры, выделяющие области спектра с наименьшим контрастом изображения. Использование мощной лазерной подсветки и узкополосных светофильтров позволяет почти полностью исключить излучение от дуги и обеспечить комфортное наблюдение за процессом [3].



Рис. 1. Пример реализации видеокамеры с блоком подсветки

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.

2. Сидоренко А.А., Пустовых И.В., Перспективы развития электронно-лучевой сварки в России // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы. – Кемерово: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2023. – С. 287–288.

3. Видеосъемка сварочных процессов. Сложности и специфика наблюдения // URL: https://www.aktivsb.ru/statii/videosemka_svarochnykh_protsesov_slozhnosti_i_spetsifika_nablyudeniya.html.

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЙ ПЯТИКООРДИНАТНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Суханов М.А.¹, Кухта М.С.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: mas99@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор

e-mail: kuhta@tpu.ru

Введение. На сегодняшний день существуют две основных группы методов производства: аддитивные и субтрактивные технологии. Под аддитивными технологиями понимают послойное наращивание и синтез объектов, в то время как субтрактивные технологии предполагают удаление лишнего материала [1]. Ко второй группе относят разнообразные способы механической обработки, среди которых наиболее популярны точение и фрезерование. В настоящее время фрезерные станки считают универсальным производственным оборудованием и используют повсеместно для самых различных задач; большое количество современных фрезерных станков оснащены системой числового программного управления (ЧПУ), что делает их еще более востребованными. Современный станок представляет собой сложное изделие, которое служит интегральным показателем развития промышленности в стране [2].

Цель данной работы – провести модернизацию пятикоординатного фрезерного станка с ЧПУ (далее – станок 5ОС). Для реализации обозначенной цели были поставлены следующие задачи:

- разработать оптимальную компоновку, удовлетворяющую потребности современных пользователей и производств;
- провести эргономический анализ;
- выполнить концептуальный поиск стилистических решений станка;
- создать фотореалистичные изображения итоговой концепции.

Станок 5ОС можно использовать в производстве реквизита сложной формы, рекламных конструкций, корпусных изделий из мягких материалов, матриц пресс-форм, а также для макетирования и прототипирования.

Согласно правилам, указанным в стандарте ИСО 841–74 и ГОСТ 23597–79, в станках с ЧПУ могут быть три координатные оси – X , Y , Z (линейные) и три круговые – A , B , C . Использовать при этом можно координатную систему прямоугольного или полярного вида. В станке 5ОС помимо линейных координатных осей X , Y , Z реализованы угловая координата B (наклон шпинделя) и угловая координата C (качение шпинделя). Данная кинематика делает продукт уникальным на мировом рынке, поскольку в большинстве современных пятикоординатных фрезерных станков дополнительные координаты реализованы с помощью поворотного стола [3], а не поворотной головы, как в 5ОС.

Размеры рабочей зоны станка 600×600×400 мм. Высота до 2500 мм (при максимальной высоте привода Z), ширина 1050 мм, глубина 1120 мм. В комплекте со станком также находится электрошкаф, в котором располагаются плата управления, пускатели, автоматы, блоки питания, драйверы двигателей, частотный преобразователь для шпинделя и другие элементы электроники станочного оборудования [4].

Поиск компоновочного решения станка. В рамках данного проекта компоновочное решение должно включать в себя комплектацию станка (состав элементов), взаимное расположение этих элементов относительно друг друга, всей системы, взаимосвязи между этими элементами. В такой сложной системе с большим числом элементов при поиске оптимального компоновочного решения важны соподчинение, соразмерность, единство [5]. Проектируемая система будет состоять из кабины станка и блока управления и предусматривать подведение стружкосборника/вытяжной установки.

На основе проведенных ранее дизайн-исследований и дизайн-анализа аналогов можно выделить следующие компоновочные схемы станка (рис. 1):

- настольный вариант, где персональный компьютер (ПК) интегрирован в кабину станка;
- базовый вариант, где ПК размещается на отдельном столе или на электрошкафе, что неудобно и небезопасно;
- дисплей ЧПУ вынесен на кронштейне;
- с автономной стойкой ЧПУ;
- с мобильным блоком управления (тип тележки, на которой возможно разместить ПК, или интегрировать дисплей).

Шланги аспирации, баки со стружкой, элементы системы управления (ПК и прочее) – все «опутывает» фрезерный станок и часто не позволяет уплотнить системы и разместить их на малой площади, в ограниченном пространстве, которое можно закрыть кожухом [6]. В связи с этим возникла идея компоновочного решения кабины станка с функциональными модулями [7]; так было сформировано итоговое компоновочное решение станка напольного типа (рис. 2). Данная компоновка предполагает размещение небольшой вытяжной установки в основании станка (опция для отвода стружки), а блока управления, электроники и ящика для хранения инструментов – в функциональном модуле (контуром с длинными штрихами обозначены монтажные дверцы).

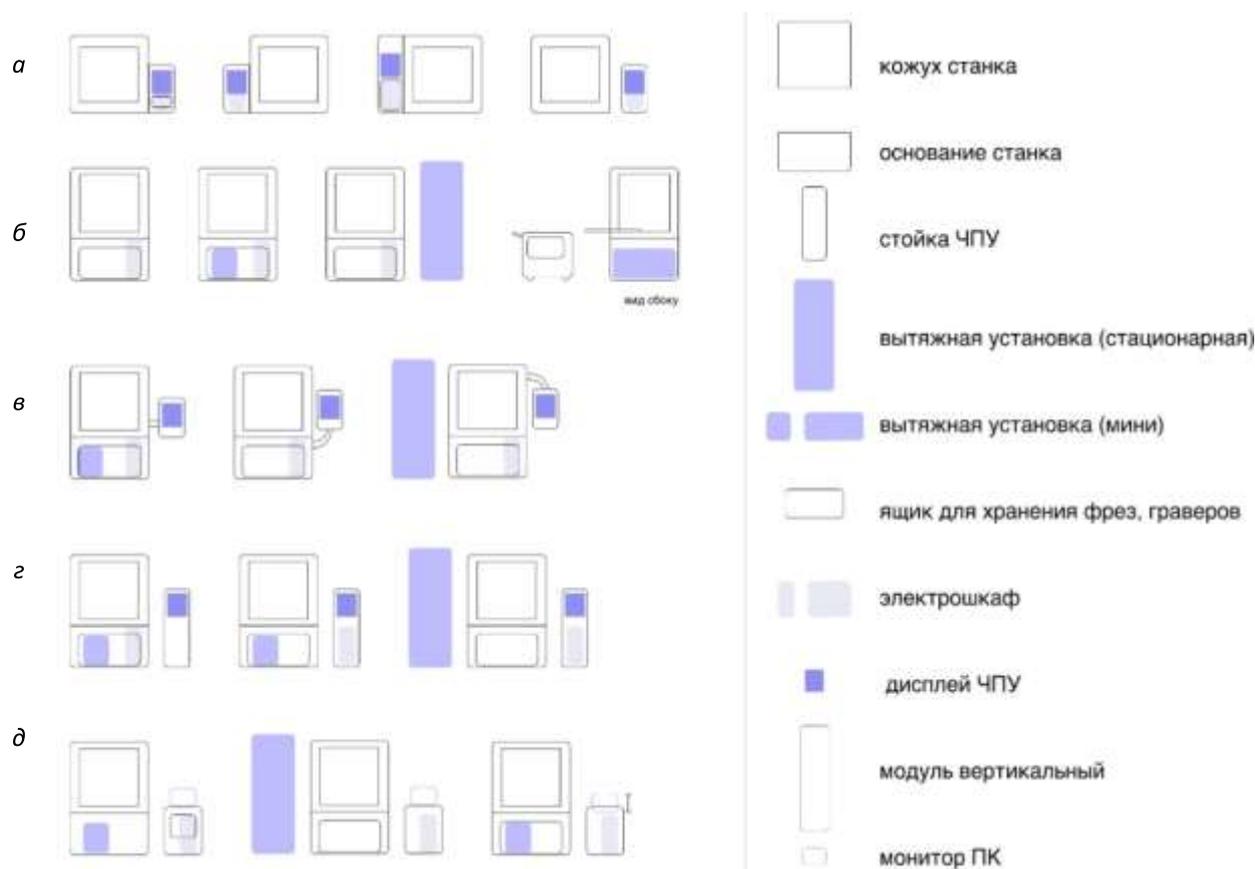


Рис. 1. Поисковые компоновочные схемы станка:
а – настольный; *б* – базовый; *в* – дисплей ЧПУ на кронштейне;
г – со стойкой ЧПУ; *д* – с мобильным блоком управления

Указанные параметры необходимо учитывать при проектировании дверцы кабины и амплитуды ее раскрытия для удобства загрузки заготовки, уровней ручки и панели управления; в зоне досягаемости должны находиться все основные элементы станка.

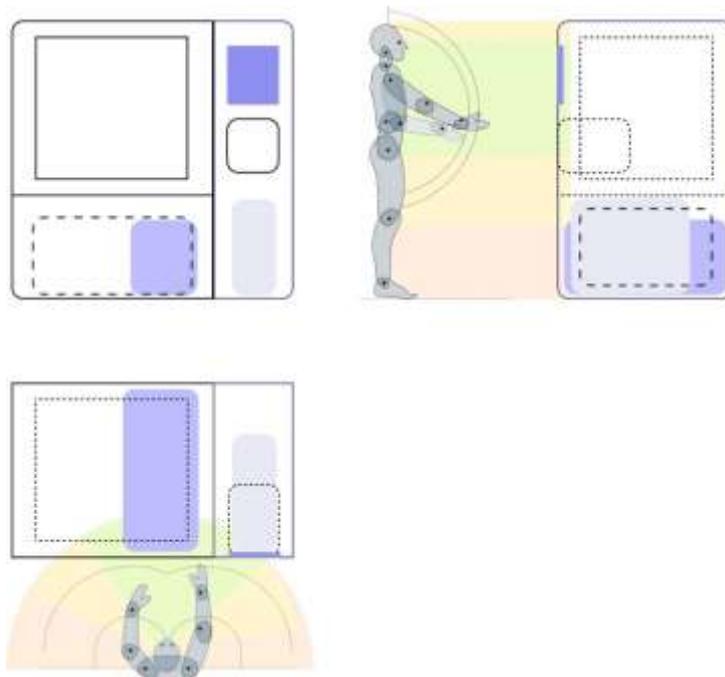


Рис. 2. Эскиз итогового компоновочного решения станка напольного типа с интеграцией эргонома и зонами досягаемости

Панель управления большинства станков расположена справа от рабочей зоны, так как операторы чаще всего правши [8]. При этом в случае с распашной дверцей кабины станка важно, чтобы дверца в открытом положении не перекрывала доступ к панели управления.

Поиск стилизового решения станка. Основная цель эскизирования на данном этапе – поиск образа продукта в соответствии с концепцией, определение стилистического направления проекта [9]. В некоторых эскизах увеличена площадь смотровой области, а также усложнена геометрия в местах смотровых окон и на блоке. Одним из наиболее выразительных является стилистическое направление, где присутствует характерная линия, делящая конструкцию, а в верхней части – также некий контрастный элемент, созвучный этой линии (рис. 3). В смотровые окна интегрирован элемент, материал которого менее прозрачен по сравнению с материалом самого окна.

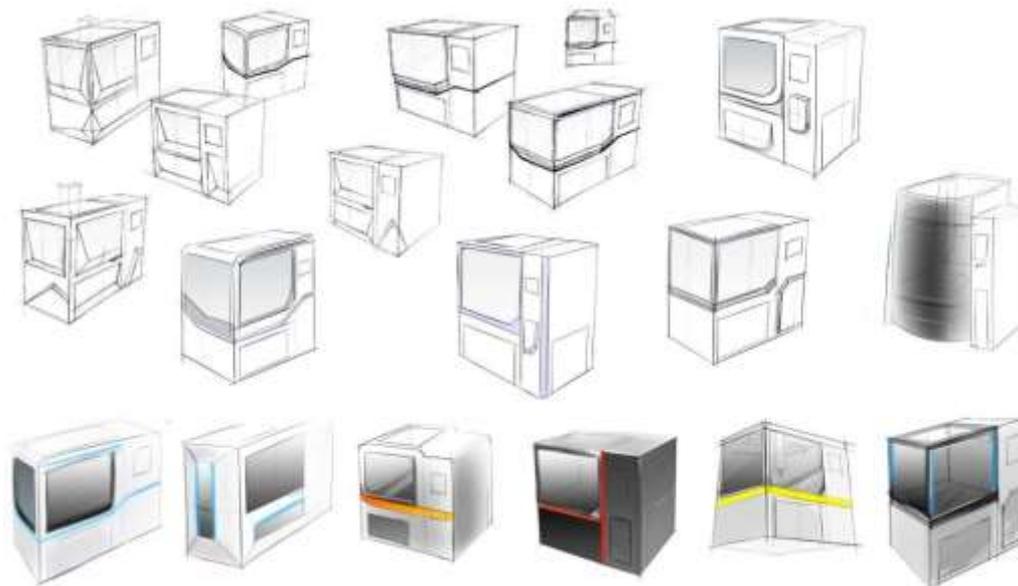


Рис. 3. Поисковые эскизы кабины станка

Большинство представленных эскизов являются комбинированными: первоначально они были отрисованы ручкой на бумаге, а затем доработаны на графическом планшете с помощью специального программного обеспечения [10].

Итоговое дизайн-решение. Итоговая визуализация (рендеринг) дизайн-концепции станка 50С осуществлялась с помощью программы KeyShot (рис. 4).



Рис. 4. Визуализация итоговой дизайн-концепции станка с нанесением знаков безопасности

Итоговая дизайн-концепция фрезерного станка 50С представлена кабиной напольного типа с фронтальной распашной дверцей и боковым смотровым окном. Ключевые характеристики итоговой дизайн-концепции станка 50С:

- стилевое единство;
- безопасность и эргономичность (продуманы сценарии использования, проработаны зоны досягаемости);
- конструкция кабины не препятствует охлаждению станка;
- освещенность рабочей зоны станка;
- оптимизация использования производственных площадей.

Для оптимальной компоновки кабины кабель-каналы X и Y были перенесены вправо, к функциональному модулю. Оригинальная кинематика станка при этом сохранилась, однако данное компоновочное решение позволило рационально организовать пространство [7]. Функциональный модуль кабины станка 50С включает в себя блок управления (сенсорный дисплей и несколько механических кнопок), ящик для фрез, а также предусматривает возможность подведения системы сбора стружки.

Для наблюдения за процессом обработки предусмотрены смотровые окна. При этом в кабине обеспечен достаточный уровень освещенности рабочей зоны (рис. 5).

Данный вариант кабины не ограничивает движение воздуха вокруг оборудования, при этом обеспечивает защиту от разлета стружки и распространения шума. Скругленные ребра кабины способствуют меньшему скоплению пыли (как это происходило бы при прямых углах).

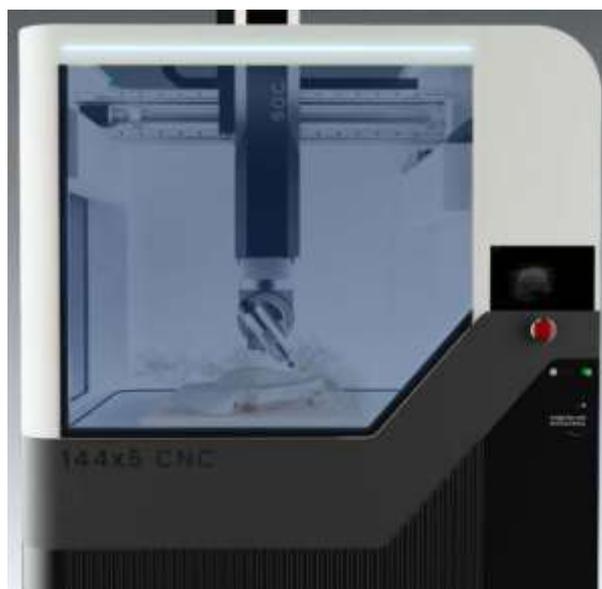


Рис. 5. Визуализация подсветки в кабине станка 50С

Итоговое макетирование. Итоговый (презентационный) макет дизайн-концепции фрезерного станка выполнен в масштабе 1:10. Итоговый макет является комбинированным, поскольку при его изготовлении использовалось несколько видов материалов и технологий (резка листового пластика и акрила, аддитивные технологии) [10]. Поскольку сам станок не служит предметом разработки в данном проекте, его конструкционные элементы в итоговом макете обобщены, упрощены либо заменены аналоговыми.

Итоговый макет станка 50С позволит продемонстрировать компоновку основных элементов, степень технологичности конструкции кабины и затрат окружающего пространства вокруг станка (рис. б).

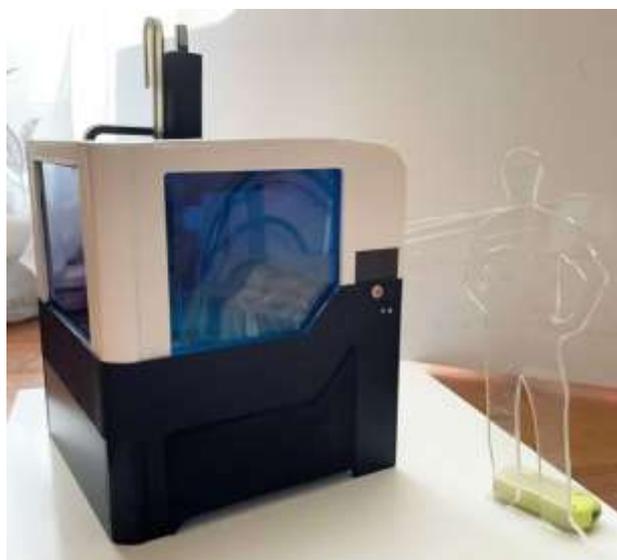


Рис. 6. Итоговый макет станка в масштабе 1:10

Заключение

В работе осуществлена модернизация фрезерного пятикоординатного станка с ЧПУ посредством разработки стилевого и компоновочного решений, которые позволят вывести новый отечественный продукт на рынки сделать его востребованным. В результате последовательного выполнения поставленных задач было предложено системное дизайн-решение

пятикоординатного фрезерного станка, включающее в себя кабину с интегрированным блоком управления.

В глобальном плане данный проект может способствовать формированию новой, жизнеспособной и человеко-ориентированной проектной культуры, а также более активному вовлечению промышленных дизайнеров в процессы разработки оборудования.

Список литературы

1. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. Конструктор, 2002. – № 1. – С. 5–7.
2. Баурина С.Б., Савченко Е.О. Современные технологические тренды развития станкостроения России. Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова, 2019. – № 2 (104). <http://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-2-81-92>.
3. Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю., Какорин Д.Д., Туляев И.П. Компоновка фрезерных станков с ЧПУ. Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2022, № 12–2. – С. 126–129. <http://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-12-2-126-129>.
4. Чернянский П.М., ред. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. В 2 т. Т. 1. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 336 с.
5. Синельников М.А. Основы композиции в промышленном дизайне. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 11 с.
6. Защитный кожух для фрезерного станка с ЧПУ. Infofrezer. URL: <https://infofrezer.ru/stati/zashchitnyj-kozhukh-dlya-frezernogo-stanka-s-chpu/> (дата обращения 02.04.2023).
7. Дизайн-мышление. Методическое руководство по применению человекоориентированного подхода к проектированию. Москва, Лаборатория Wonderfull, 2020. – 69 с.
8. Гонсалес-Сабатер А. Комплексный подход к автоматизации проектирования технологического процесса механообработки. Проблемы машиностроения и автоматизации, 2016, № 2. – С. 125–131.
9. Браун Т. Дизайн-мышление в бизнесе. От разработки новых продуктов до проектирования бизнес-моделей. Москва, Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 245 с.
10. Робертсон С., Бертлинг Т. Искусство рисования: рисование эскизов объектов и пространства из воображения. Design Studio Press, 2013. – 208 с.

АНТИДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Ергин И.А., студент гр. 5031

Соколов А.П., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

e-mail: ilyaergin310305@gmail.com

тел. +8 (960) 921-77-27

Антидизайн намеренно отвергает традиционные принципы, нарушая эстетические и функциональные нормы для создания провокационных решений. Несмотря на хаос и дисгармонию, которые он вносит в интерьер и цифровую среду, антидизайн привлекает внимание цифровых дизайнеров и специалистов по интерьеру как способ выразить альтернативное видение и протест против чрезмерного упрощения [1]. В статье рассмотрено явление антидизайна, какую информацию в себе содержит. Приведены методы борьбы с антидизайном.

Ключевые слова: дизайн, антидизайн, веб-дизайн, эстетика.

Проблема: антидизайн выступает как намеренное нарушение общепринятых эстетических и функциональных норм в области визуального и цифрового дизайна.

Цель: выявить причины и особенности влияния антидизайна на визуальные и цифровые среды, предложить методы борьбы с его негативными последствиями.

Определение явления гласит о том, что «антидизайн» – это процесс создания объектов и композиций вопреки устоявшемуся принципу визуализации, сознательно игнорирующий основные принципы традиционного дизайна. Приверженцы данного течения, выдвигая утопические проекты, преднамеренно преследуют цель – спровоцировать зрителя, заставить его переосмыслить исследуемый объект. Они видят основную идею дизайна в «бегстве» от мира рационализма и развивающихся технологий. Для этого используются все различные методы аберрации пропорций, «кричащие цвета» и даже китч (от нем. kitsch – «безвкусица»), что приводит к нарушению эстетической гармонии и вызывает диссонанс в восприятии пространства (рис. 1–3) [2].



*Рис. 1. Кровать «Superonda»,
Архизум, 1966*



*Рис. 2. Стул «Mies»,
Архизум, 1969*



*Рис. 3. Мебель «Pratone»,
Strum, 1970*

Антидизайн сегодня активно используется в цифровых технологиях и веб-дизайне. Если в интерьере он и сохранил прежние формы и замысел, то в цифровом пространстве направление стало позиционировать себя как нечто новое. Данный стиль в последнее время сфокусирован на создании бесцелостного, потому что объекты его выглядят, с одной стороны, непримечательными, бессистемными и примитивными, с другой – наделены большим количеством лишней информации, что порождает дисгармонию, хаос и неэстетичность содержания. Он во многом является отголоском HTML-сайтов 90-х годов, с большим количеством синих ссылок и однотипного монохромного текста (рис. 4–6) [3, 4].

Представители современного дизайна объясняются преследованием идеи приоритета функциональности над формой и используют антидизайн в ответ на преобладание искусственных простых форм художественной выразительности. В частности – отойти от шаблонных сайтов, заполонивших «Паутину», исключить визуальную иерархию, добавить диссонирующие резкие цвета, дезориентирующие элементы. Сегодня некоторые эксперты афишируют политику антидизайна как протест против чрезмерного упрощения дизайна путем намеренного усложнения интерфейса [4].



Рис. 4. Платформа объявлений Craigslist как прототип сайта 90-х



Рис. 5. Сайтконференции Bloomberg's Businessweek Design



Рис. 6. Пример метеорологического сайта Weatherishappening

Наиболее важным шагом в борьбе с антидизайном является создание образовательных программ, ориентированных на повышение стандартов и развития осознанного дизайна, который учитывает эргономику, инклюзивность и доступность. Распространение стандартов вроде WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) помогает закрепить требования к качеству.

Продвигать этические стандарты и критически оценивать тренды, поддерживая устойчивые и осознанные подходы в дизайне, должны именно профессиональные дизайнерские сообщества и критики. Однако необходимо также исследовать мнение, оценки и предпочтения «большинства», определяющего тенденции дальнейшего развития современного дизайна. Именно регулярное тестирование и вовлечение простых пользователей в процесс разработки позволяет избежать сложных и неэргономичных решений, характерных для антидизайна.

Минимализм и функциональный дизайн, ориентированные на удобство и ясность, помогают противодействовать избыточным и хаотичным стилям, типичным для антидизайна

Что касается достижения эстетической гармонии дизайна, то здесь необходимо в первую очередь наличие вкуса и знания основных принципов. Важно грамотно подбирать сочетаемые материалы, обоснованно определять размеры и формы объектов, избегать ненужной громоздкости и тщательно подходить к выбору цветовых решений и стилевых композиций [5].

Выводы

1. Антидизайн отвергает традиционные принципы, намеренно нарушая общепринятые нормы для создания провокационных и нестандартных решений.
2. В интерьере и цифровой среде антидизайн создает хаос и дисгармонию: в интерьерах – через несочетаемые пропорции и яркие цвета, а в цифровом дизайне – через сложные интерфейсы и отсутствие визуальной иерархии.
3. Важную роль в борьбе с антидизайном играют образовательные программы, направленные на развитие осознанного и эргономичного дизайна.
4. Такие стандарты, как WCAG, помогают обеспечить удобство и доступность в цифровом дизайне, предотвращая негативные последствия антидизайна.
5. Продвижение минимализма и функциональности служит эффективным средством против неэстетичности, беспорядка и несоразмерности, характерных для антидизайна.

Список литературы

1. Петрова Г.И. Философские основания дизайна // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2013. – № 2. – С. 24–27.
2. История дизайна – Радикальный дизайн. Антидизайн [Электронный ресурс]. – URL: <https://designstory.ru/style/antidesign/?ysclid=m1nwqtrdw143345411> (дата обращения: 21.09.2024).
3. Брутализм. и антидизайн [Электронный ресурс]. – URL: <https://lpgenerator.ru/blog/2017/11/12/brutalizm-i-antidizajn/?ysclid=m1nwuv889l390466881> (дата обращения: 23.09.2024).
4. Anti-design: the anti-rule book redefining digital design [Электронный ресурс] – URL: <https://99designs.com/blog/design-history-movements/anti-design/> (дата обращения: 23.09.2024).
5. Куманин В.И. Антидизайн // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2015. – № 2. – С. 5–6.

ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Милицин М.В., студент группы 5031
Научный руководитель: А.П. Соколов, доцент, к.т.н.
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
тел. +7 (923) 348-20-87
e-mail: mvm34@tpu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность совмещения вариативности ручного подхода в обработке плоских поверхностей с ее автоматизацией. Определено основное ограничение масштабирования уникальных художественных оформлений и наиболее популярное направление развития художественной обработки поверхностей. Накат выделен как наиболее перспективное направление художественной обработки.

Цель исследования – поиск способов совмещения креативности ручного труда с рентабельностью автоматизированного производства.

Существует противоречивое стремление людей пользоваться отвечающими всеобщим стандартам качества изделиями, но при этом окружать себя уникальными вещами. Для удовлетворения этого желания нужно производить огромное количество конструкционно одинаковых вещей, одновременно придавая им уникальные декоративные черты. Современные конвейеры, станки ЧПУ и роботизированные линии действуют по строго определенной программе или же в узком диапазоне значений некоторых параметров и не могут осуществлять уникальную художественную обработку каждой поверхности без процедуры перенастройки или загрузки новых параметров работы [1]. Это замедляет скорость воплощения человеческих замыслов и тем самым ограничивает разнообразие по законам бизнеса. Как увеличить разнообразие объектов, не увеличивая объём ручного труда?

Первый вариант решения этой задачи – использование роботов, которые заменяют человека. Этот принцип рационально применим для изделий, которые по форме и назначению приближены к скульптуре.

Второй вариант решения задачи. Если объект может быть разделён на составляющие, которые могут быть обработаны «плоскостными технологиями», то в этом случае может быть использована линия для производства индивидуальных изделий последовательно в непрерывном цикле [2]. Такого рода линия является роботизированным производством.

По первому и второму варианту в технологическом процессе пытаются использовать возможности нейросетей.

Как добиться «тиражирования уникального» без тяжелого перехода от человеческой мысли к машине? Ответить на этот вопрос помогут нейросети-алгоритмы, способные генерировать миллионы простых структур и образов. Идея очевидна. Нейросети генерируют оформления и модели, ориентируясь на спрос потребителей и желания заказчика, на их основе производится уникальный продукт для каждого. Однако в силу «молодости» технологий машинного обучения (проблемы авторского права, качества производимого контента и точность выполнения команд) не существует отработанных схем производства с их участием [3]. Ко всему прочему стоит вопрос истинности новизны производимых алгоритмом решений.

Обратим основное внимание на переход от сгенерированного образа к его технологическому воплощению. Форма получаемых элементов конструкции часто очень сложна. Нужно провести определённую систематизацию. В соответствии с самым простым подходом разделим элементы на объёмные и плоские. Во втором случае элементы обрабатываются с помощью «плоскостных технологий», например: печать, штамповка, накатка и т. д. Назовём эти технологии «поверхностной художественной обработкой».

Для отражения тенденций развития поверхностной художественной обработки и выявления, наиболее уверенно отвечающих требованиям к автоматизации направлений, был проведен патентный поиск. Результаты приведены в табл. 1.

Результаты анализа направлений художественной обработки поверхностей

Направление	Количество патентов	Возможности автоматизации	Перспективность
Накат – покрытия с высокой степенью рельефности, сборные накладки или рельефы	306	Трудно поддается автоматизации	Направление перспективно, в виду своей гибкости и универсальности
Покрытия–лакокрасочные, клеевые, реакционные слои вещества на плоскости с низкой степенью рельефности	200	Наиболее легко автоматизировать (печать, аэрозольное окрашивание и т. д.)	Наиболее универсальное направление обработки, однако не предполагающее рельеф
Опрессовка–получение рельефа и определенных структур поверхности с помощью давления	74	Хорошо автоматизируемо	Перспективно, однако ограниченно возможностями техпроцесса
Литье – выполнение художественного оформлений плоскостей веществом в жидком состоянии с последующим затвердеванием	37	Слабо автоматизируемо в виду ограничений техпроцесса	Малоперспективно в виду специфики работы с жидкостями
Создание объёмных декоративных элементов на плоскости с помощью механического или химического удаления части обрабатываемого материала	31	Тяжело поддается автоматизации	Наименее востребованное направление в виду малого потенциала масштабирования производства

Выводы

1. Увеличение рельефности (объёмности) приводит к усложнению процессов обработки.
2. Наиболее востребованным направлением художественной обработки на данный момент является накат, как вариант универсализации решений для любого типа поверхности.
3. Технологии в виду ограничений технологических процессов не способны на данный момент передать все многообразие художественной мысли.
4. Процесс перехода от сгенерированной идеи до исполнения в «металле» на данном этапе развития техники ограничен имеющимся оборудованием.

Список литературы

1. Лапина С.В. Виртуализация инструментария дизайнера // Современные проблемы машиностроения: сборник статей XVI Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2023. – С. 463–466.
2. Патент № 2685500. Российская федерация, МПК G05B 19/409 (2006.01) Линия для производства индивидуальных изделий последовательно в непрерывном цикле / Баруцци Массимилиано, Коккуйо Алессандро, Риччи Клаудио, ГуидоттиДжанмарио; опубл.18.04.2019. Бюл. № 11.
3. Волкоморов, В.И. Технология роботизированного производства: учебное пособие / В.И. Волкоморов, А.В. Марков. – СПб: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова –2012. – 113 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ГАЙДА ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ «ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН»

Семенюта К.В., студент-магистрант группы 8ИМ42

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

e-mail: kvs34@tpu.ru

Научный руководитель Кухта М.С.,

профессор ОАР ИШИТР

e-mail: kuhhta@tpu.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается важность создания интерактивного гайда для программы переподготовки в области промышленного дизайна. Перед началом обучения пользователям необходимо ознакомиться с гайдом, который поможет лучше понять структуру и содержание обучения.

Ключевые слова

Дополнительное профессиональное образование, профессиональная переподготовка, промышленный дизайн, гайд.

Введение

В современном мире, где технологии и дизайн играют важную роль в различных сферах деятельности, промышленный дизайн становится всё более востребованным направлением. Программы переподготовки в этой области предоставляют возможность специалистам из разных сфер освоить новые знания и навыки, чтобы успешно применять их в профессиональной деятельности. В настоящее время цифровые технологии активно проникают в различные сферы жизни, включая образование. В связи с этим становится всё более актуальным применение цифровых и дистанционных технологий в дополнительном профессиональном образовании.

Основная часть

Дополнительное профессиональное образование (ДПО) – это процесс, направленный на повышение уровня квалификации и профессиональную переподготовку специалистов. Он позволяет специалистам оставаться востребованными в своей сфере деятельности и получать новые знания и умения. Получить дополнительное профессиональное образование может любой специалист, имеющий среднее профессиональное или высшее образование. Также это могут быть студенты колледжей и вузов, которые ещё учатся. Оно может включать в себя и короткие курсы, на которых можно получить дополнительные навыки для текущей профессии, и получение второго высшего образования по другой специальности, и переквалификацию [1].

Система ДПО представлена следующими формами обучения:

- Повышение квалификации – это обновление знаний и навыков специалистов в соответствии с требованиями профессиональных стандартов. Повышение квалификации проводится не реже одного раза в пять лет и является обязательным условием для подтверждения соответствия занимаемой должности.

- Профессиональная переподготовка – это получение новой специальности или квалификации на базе имеющегося высшего или среднего профессионального образования, она включает в себя: тренинги, семинары, конференции, консультации, мастер-классы и т. д.

Профессиональная переподготовка может быть нужна:

- Специалисту, который стремится углубить свои знания и навыки в рамках своей текущей профессии.

- Сотруднику, не имеющему профильного образования и работающему не по специальности.

- Специалисту, решившему сменить сферу деятельности.

В современном мире профессиональная переподготовка становится всё более популярной альтернативой второму высшему образованию.

Основные преимущества

- Возможность освоить новую специальность в сжатые сроки.
- Стоимость обучения ниже, чем при получении второго высшего образования.
- В программах часто присутствуют только профильные дисциплины и практика, что позволяет получить актуальные знания и навыки.
- Подготовка работника в соответствии с требованиями действующих профессиональных стандартов.

Окончание программы подтверждается выдачей диплома о профессиональной переподготовке и присвоением новой квалификации. Квалификация, указанная в документе, даёт право его владельцу заниматься новым видом профессиональной деятельности. [2].

В последние годы наблюдается рост интереса к профессиям в области дизайна, включая промышленный дизайн. Промышленный дизайн – это область дизайна, которая охватывает разработку продуктов, предназначенных для массового производства. Цель промышленного дизайна заключается в создании функциональных и привлекательных продуктов, которые удовлетворяют потребности потребителей и приносят прибыль производителям. Промышленные дизайнеры учитывают эргономику, материалы, технологии и визуальное оформление продукта, чтобы сделать его удобным в использовании и привлекательным для покупателей. Промышленный дизайн охватывает широкий круг областей таких как: машиностроение, мебель, интерьеры, техника [3].

Практически для каждой сферы жизни человека необходим специалист, способный создать качественный и удобный предмет. Поэтому высококвалифицированные профессионалы в этой области становятся всё более востребованными.

Таким образом профессиональная переподготовка по программе «Промышленный дизайн» может быть полезна для специалистов в различных областях, связанных с созданием и разработкой продуктов и объектов. Среди них: инженеры-конструкторы, архитекторы, маркетологи, веб-дизайнеры, IT-специалисты и другие.

Существует несколько форм обучения: очная, заочная, очно-заочная, дистанционная, смешанная. Безусловно, дистанционный формат обучения один из самых удобных форматов обучения для программ профессиональной подготовки по нескольким причинам:

- Совмещение учёбы и работы.
- Быстрый старт обучения.
- Гибкий график обучения, который можно подстроить индивидуально.

Чтобы пользователь мог принять взвешенное решение о прохождении программы профессиональной переподготовки, он должен оценить объём образовательной программы, спланировать своё обучение, ему должно быть просто ориентироваться в курсе. Для данных задач лучше всего подойдет гайд.

Гайд – это руководство, структурированный набор инструкций и рекомендаций, предназначенный для помощи пользователям в выполнении определённых задач, решении проблем или достижении конкретных целей. Гайд может быть представлен в различных форматах: текстовом, видео, аудио или интерактивном [4].

Гайд для программы переподготовки должен содержать всю необходимую информацию о программе, ее описание, сколько времени потребуется на обучение, для кого подойдет данный курс, как будет проходить обучение, какими компетенциями будет владеть ученик при окончании обучения. Интерактивное руководство также может содержать информацию о ресурсах и инструментах, необходимых для обучения, советы по организации учебного процесса. Все это позволит пользователю понять, чего он ждет от курса профессиональной переподготовки, осознанно принять решение о прохождении обучения.

Заключение

Создание интерактивного гайда для программы переподготовки в области промышленного дизайна является важным шагом для повышения эффективности образования. Такой гайд помогает обучающимся лучше ориентироваться в структуре обучения, успешно подготовиться к реальным проектам. Наличие чёткого плана обучения и советов по организации учебного процесса может помочь студентам сохранить мотивацию и не потерять интерес к обучению.

Список литературы

1. ДППО // ДПО – 2024. – URL: <https://dppo-edu.ru/dpo-chto-eto-takoe/>.
2. Статья 76. Дополнительное профессиональное образование // КонсультантПлюс – 2024. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/-18ecc06c654c0f2e1ffdf7fa3f8c1ef137f01615/.
3. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
4. Гайд // unisender. – 2024. – URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-guide-dlya-chego-i-gde-ispolzuetsya/>.

ШВЕЙЦАРСКИЙ СТИЛЬ В ВЕБ-ДИЗАЙНЕ

Алферьева В.Е.
НИ ТПУ, ИШИТР, 8ИМ42,
e-mail: alferevav.val@gmail.com
Научный руководитель Кухта М.С.,
профессор ОАР ИШИТР,
e-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные принципы и инструменты швейцарского стиля, а также их применение в веб-дизайне.

Annotation. This article discusses the basic principles and tools of the Swiss style, as well as their application in web design.

Ключевые слова: швейцарские стиль, международный типографический стиль, швейцарский дизайн, Баухаус, веб-дизайн.

Key words: Swiss style, international typographic style, Swiss design, Bauhaus, web design.

Швейцарский стиль зародился в 1950-х годах в Швейцарии и оказал огромное влияние на графический дизайн. Этот стиль отличается чистотой линий, простотой и объективностью, а также высокой читабельностью благодаря шрифтам без засечек, строгим сеткам и асимметричным композициям. Швейцарский стиль, будучи воплощением минимализма, делал акцент на типографике, это способствовало его значительному влиянию на модернистское движение и привело к появлению второго названия – Международный типографический стиль.

Швейцарский стиль в графическом дизайне возник под влиянием модернистских художественных движений 1910–1920 годов, таких как Баухаус в Германии, русский конструктивизм и De Stijl в Нидерландах, которые пропагандировали практичность и простоту, выступая против декоративности ар-нуво и ар-деко. После Второй мировой войны, с возрождением европейской промышленности, этот стиль получил активное развитие, став эффективным инструментом для привлечения внимания международной аудитории.

Принципы дизайна – это основа, которая помогает направить работу и идеи дизайнера. В швейцарском стиле акцент делается на минимализме, функциональности и универсальности. Используя продуманные инструменты, дизайнеры создают композиции, в которых каждая деталь логична и несет четкую функцию. Ключевые инструменты, воплощающие философию международного типографического стиля, включают в себя:

- простота и лаконичность;
- асимметричная композиция;
- простая типографика;
- геометрические формы;
- ограниченная палитра цветов;
- свободное пространство;
- модульная сетка;
- использование фотографий.

На рис. 1 изображены примеры швейцарского стиля в типографике, созданные Армином Хофманном, чьи работы стали классическими образцами мирового графического дизайна.



Рис. 5. Работы Армина Хофманна

Со временем стиль перешел из графического дизайна и постеров в веб-среду, где дизайнеры стремятся донести содержание максимально ясно и ненавязчиво. Многие характерные для швейцарского стиля инструменты нашли свое применение и в веб-дизайне, среди них:

- Минимальное количество элементов, поскольку швейцарский стиль в первую очередь фокусируется на функциональности каждого элемента на странице. Каждый элемент служит определенной цели, что отражает философию минимализма, когда дизайн сводится к минимально необходимым элементам, он становится более ясным и легким для восприятия.

- Асимметричная композиция, которая добавляет динамику статичным формам, позволяет управлять вниманием зрителя.

- Простая типографика, которая делает текст читабельным и акцентирует внимание на содержании. Швейцарский стиль предпочитает ясные, без засечек шрифты, такие как Helvetica. Веб-дизайнеры следуют этому принципу, выбирая шрифты, которые улучшают читабельность и не отвлекают от смысла.

- Геометрические формы, такие как круги, квадраты, прямоугольники и треугольники, являющиеся наследием конструктивизма, которые прочно закрепились в швейцарском стиле.

- Ограниченная палитра цветов. Швейцарскому стилю присуща сдержанная палитра, включающая черный, белый и оттенки серого, создающие чистую, минималистичную композицию, в которой акцентируется внимание на форме и типографике. Яркий красный цвет, символизирующий связь со швейцарским флагом, часто используется для выделения ключевых элементов, добавляя динамику в композицию. Редкие акценты других ярких цветов, таких как синий или желтый, применяются минимально, исключительно для визуального контраста и подчеркивания важных деталей, делая цвета функциональным инструментом для создания четкой иерархии и фокусировки на содержании.

- Свободное пространство – важный элемент, позволяющий визуально разгрузить макет и акцентировать внимание на содержании. Пустые области создают ощущение свободы и порядка, помогая пользователю сфокусироваться на ключевых элементах и облегчая восприятие информации. Швейцарский стиль делает негативное пространство неотъемлемой частью композиции, где каждая деталь гармонично вписывается, создавая баланс и упрощая навигацию.

- Модульная сетка – это система колонок, рядов и отступов, по которой выравниваются элементы сайта: текст, изображения, кнопки. Она упрощает работу дизайнера, создавая единый стиль и ускоряя размещение новых объектов. Сетка делает макет эстетичным, улучшает восприятие информации пользователями и упрощает задачу верстальщикам, обеспечивая пропорциональность и четкость композиции.

- Использование фотографий, вместо иллюстраций. В швейцарском стиле основное внимание уделяется фотографии, так как основатели этого направления считали её средством отображения реальности. Фотография воспринимается как более объективная форма представления, чем рисунок или иллюстрация, поскольку она не передает личное восприятие художника, а фиксирует реальный мир без субъективных интерпретаций.

На основе изученного материала я создала дизайн главной страницы интернет-магазина. Швейцарский стиль идеально подходит для этого типа сайтов, так как он делает акцент на чи-

стоте, ясности и логичности структуры, что особенно важно в электронной коммерции. Этот стиль позволяет четко организовать информацию о товарах, ценах и предложениях, избегая визуального шума и облегчая восприятие контента. Благодаря применению швейцарского стиля, каждый элемент интерфейса интернет-магазина выполняет свою функцию, помогая пользователю быстро ориентироваться и находить нужную информацию. На рис. 2 представлено мое видение швейцарского стиля, реализованное на примере интернет-магазина.

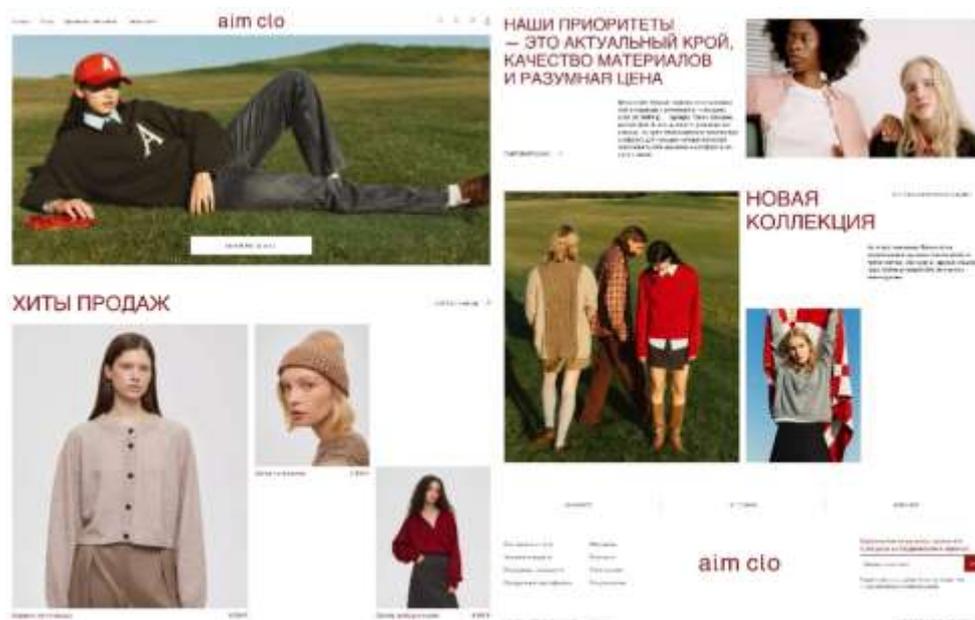


Рис. 2. Интернет-магазин выполненный в швейцарском стиле

Швейцарский стиль, зародившийся в середине XX века, остается актуальным и по сей день, прочно заняв место не только в графическом дизайне, но и в веб-дизайне. Его принципы – минимализм, функциональность и универсальность – позволяют создавать понятные и эстетически привлекательные дизайны сайтов, где каждая деталь оправдана и направлена на улучшение восприятия информации.

Список литературы

1. Лани О., Брол М., За пределами минимализма: исследование глубин швейцарского дизайна, 2024.
2. Колегов М.П., Швейцарский дизайн при оформлении веб-сайтов. – Брянск: БГАУ, 2020. – 150 с.
3. Гейко Ф., Армин Хофманн // Журнал «Проектор». – Москва: НИУ ВШЭ, 2024.
4. Шляховская Д.А., Швейцарский стиль как основа современного коммуникативного дизайна. – Москва: МГПУ, 2023. – 809 с.
5. Ващук О.А., Швейцарская школа графического дизайна. Становление и развитие интернационального стиля типографики. – Санкт-Петербург, 2013. – 91с.
6. Швейцарский дизайн // История дизайна: сайт. – URL: <http://designishistory.com/home/swiss/>.
7. Швейцарский стиль в дизайне // Uprock: сайт. – URL: <https://www.uprock.ru/education/shveycarskiy-stil-v-dizayne>.
8. Будрик К., Швейцарский стиль: принципы, шрифты и дизайнеры // Print: сайт. – URL: <https://www.printmag.com/featured/swiss-style-principles-typefaces-designers/>.

MOBILE FIRST: НОВЫЙ СТАНДАРТ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-САЙТОВ

Алферьева В.Е.
НИ ТПУ, ИШИТР, 8ИМ42,
e-mail: alferevav.val@gmail.com
Научный руководитель Серяков В.А.,
доцент ОАР ИШИТР ТПУ

Аннотация. В статье рассматриваются принципы Mobile First, преимущества и недостатки, а также связь с традиционными подходами, такими как адаптивный и отзывчивый дизайн.

Annotation. The article discusses the principles of Mobile First, advantages and disadvantages, as well as the relationship with traditional approaches such as adaptive and responsive design.

Ключевые слова: Mobile First, адаптивный дизайн, отзывчивый дизайн, мобильный дизайн, веб-дизайн.

Key words: Mobile First, adaptive design, responsive design, mobile design, web design.

С развитием технологий и доступностью интернета все больше людей используют мобильные устройства как основное средство для доступа к информации и онлайн-сервисам. Эта тенденция вызывает необходимость пересмотра принципов проектирования и разработки цифровых продуктов, где на первый план выходит концепция Mobile First. Данный подход не только отвечает современным требованиям пользователей, но и закладывает новые стандарты в веб-дизайне.

Почему Mobile First актуален. По данным DataReportal, на начало 2023 года 5,44 миллиарда человек, или 68 % мирового населения, использовали мобильные телефоны. За 2023 год их число выросло на 3 %, добавив 168 миллионов новых пользователей. Мобильные устройства стали основным средством доступа к социальным сетям, новостям и электронной почте благодаря своей доступности и удобству. На рис. 1 наглядно представлена данная статистика, показывающая долю пользователей мобильных устройств, Интернета и социальных сетей в процентном соотношении к общему населению мира. Эти данные наглядно подтверждают рост значимости мобильных технологий.



Рис. 6. Статистические данные

Что такое Mobile First. Mobile First – это подход к проектированию и разработке, который ставит в приоритет создание дизайна и функционала для мобильных устройств, а затем адаптирует его для более крупных экранов, таких как планшеты и компьютеры. Данный подход обеспечивает удобство и функциональность за счет оптимального расположения ключевых элементов, таких как кнопки, тексты и формы. Mobile First набирает популярность благодаря возрастающей значимости мобильных устройств, которые для большинства пользователей стали основным средством выхода в интернет.

Традиционные подходы к разработке: адаптивный и отзывчивый дизайн. Ранее сайты разрабатывались преимущественно для компьютеров, и мобильная версия зачастую либо отсутствовала, либо была неудобной. На рис. 2 представлены примеры неадаптированных сайтов – Foodnetwork и Elibrary, где элементы интерфейса на мобильном устройстве выглядят непропорционально, текст трудно читаем, а навигация становится сложной. Такие сайты создавали серьёзные неудобства для пользователей. Чтобы решить проблему корректного отображения сайтов на экранах различных размеров, были разработаны подходы адаптивного и отзывчивого дизайна.



Рис. 2. Неадаптированные страницы сайта на мобильном устройстве

Адаптивный дизайн предполагает создание нескольких фиксированных макетов для различных размеров экранов (смартфоны, планшеты и настольных компьютеров). Когда пользователь заходит на сайт, система автоматически определяет размер экрана и подгружает соответствующий макет. Однако такой метод ограничен в гибкости: элементы интерфейса не изменяются «на лету», а каждая версия сайта разрабатывается как отдельный шаблон.

Отзывчивый дизайн использует гибкую сетку, пропорциональные размеры и медиазапросы CSS, позволяя элементам сайта автоматически адаптироваться к ширине экрана. Например, если пользователь меняет размер окна браузера, контент плавно подстраивается под новое разрешение. Этот подход обеспечивает большую универсальность, чем адаптивный дизайн, но всё же чаще строится на базе десктопной версии, что может ограничивать удобство для мобильных пользователей.

Оба подхода внесли значительный вклад в решение проблемы адаптации сайтов для различных устройств, но их ориентация на десктопы постепенно теряет актуальность. В современном мире, где мобильные устройства доминируют в качестве основного инструмента доступа к интернету, такие методы уже не соответствуют требованиям пользователей. Mobile First предлагает принципиально новый взгляд, ставя в приоритет мобильные устройства и обеспечивая удобство использования независимо от платформы.

Преимущества и недостатки Mobile First. Как и любой подход в веб-дизайне, концепция Mobile First имеет свои сильные и слабые стороны, которые важно учитывать при разработке цифровых продуктов.

Преимущества:

- Повышение пользовательского опыта – простые и интуитивные интерфейсы для мобильных устройств позволяют пользователям легко и быстро достигать своих целей. Это особенно важно, так как мобильные пользователи часто находятся в условиях, где удобство и скорость играют решающую роль;
- Более высокие позиции в поисковиках – Google ещё в 2010 году начал отдавать приоритет сайтам, оптимизированным для мобильных устройств. Спустя восемь лет аналогичный алгоритм появился и в Яндексе. Это значит, что сайты, использующие Mobile First, имеют больше шансов оказаться на верхних позициях в поисковой выдаче.;
- Больше информации о пользователях – мобильные версии сайтов предоставляют больше возможностей для сбора клиентской информации. Эти данные можно использовать для анализа поведения пользователей и оптимизации рекламных кампаний, что помогает бизнесу лучше понимать свою аудиторию.

Недостатки:

- Необходимость адаптировать контент под смартфоны – одной лишь корректировки дизайна и навигации недостаточно. Весь контент, включая текст, изображения и видео, должен быть адаптирован под мобильные устройства. Например, видеоформат лучше подбирать вертикальный, так как он удобнее для просмотра на смартфонах.;
- Необходимость оптимизировать скорость загрузки – мобильные пользователи часто используют интернет с ограниченной скоростью. Это накладывает строгие требования на производительность сайта. Рекомендованное время загрузки страницы составляет не более 0,5 секунды. Исследования Google показывают, что задержка загрузки страницы с 1 до 10 секунд увеличивает вероятность того, что пользователь покинет сайт, на 123 %.;
- Творческие ограничения – дизайн для мобильных устройств часто воспринимается как однообразный из-за ограничений формата и привычки пользователей к определённой структуре навигации. Креативные элементы или сложные анимации могут сбить пользователя с толку, поэтому приходится отказываться от нестандартных решений.

Вывод. Mobile First – это не просто тренд, а стратегический подход, отражающий изменения в пользовательском поведении и технологических реалиях. Рост числа пользователей мобильных устройств, их предпочтение быстрого и удобного доступа к информации и услугам делают этот подход незаменимым. Для успешной реализации концепции необходимо учитывать её принципы и находить баланс между функциональностью, производительностью и эстетикой. В современном мире, где мобильные технологии продолжают доминировать, подход Mobile First становится стандартом, определяющим будущее веб-дизайна и разработки.

Список литературы

1. Соколовская В.О., Mobile First как основная технология разработки дружественных интерфейсов интернет-ресурсов. – Симферополь: КИПУ имени Февзи Якубова, 2020. – 94 с.
2. Подиева А.В., Использование метода Mobile First при создании современных веб-приложений. – Тольятти: ЧОУ ВО Тольяттинская академия управления, 2021. – 210 с.
3. Цифровые технологии 2023: глобальный обзорный отчет // DataReportal: сайт – URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>.
4. Метод Mobile First: что это и зачем нужно бизнесу // Маркетолог: сайт – URL: https://marketolog.mts.ru/blog/metod-mobile-first-cto-eto-i-zachem-nuzhno-biznesu?utm_referrer
5. Чем Mobile First отличается от адаптивного и отзывчивого дизайна // CLEVEROAD: сайт – URL: <https://www.cleveroad.com/blog/mobile-first-web-design/>.
6. Узнайте, соответствуете ли вы новым отраслевым стандартам скорости загрузки мобильных страниц // Think with Google: сайт – URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/>.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Бердюгин Д.О., студент гр. 5031

Соколов А.П., к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

тел. +7 (923) 008-59-14

e-mail: dob12@tpu.ru

В данной статье были рассмотрены два основных принципа работы генеративного искусственного интеллекта, составлено описание и приведены примеры используемых нейронных сетей. Были исследованы вопросы применения работ генеративных нейросетей, а также их эффективность в дизайне.

По данным школы дизайна Contented 45 % российских дизайнеров используют в своей работе нейросети [1]. Отечественный маркетплейс Ozon объявил об использовании ИИ-моделей для демонстрации одежды, а российская генеративная нейросеть Kandinsky занимает ведущие позиции в области генерации изображений. Искусственный интеллект отлично применим в прогнозировании и анализе трендов, что позволяет эффективно наращивать клиентскую базу крупным компаниям, создавая релевантные дизайны и рекламы с минимальными затратами. Однако, чем может быть полезна технология «тиражирования уникального» классическому дизайнеру и художнику: возможно ли реализовать весь спектр человеческих эмоций и вложить цепляющую оригинальность мысли посредством такого продвинутого штамповочного станка?

Примечательно, что модель передачи данных ИИ основана на современном представлении о функционировании биологических нейронов, откуда и название – нейронные сети. Как и в человеческом мозге, в нейронных сетях происходит взаимодействие множества узлов (нейронов), которые обрабатывают и передают информацию, что позволяет системе учиться на основе предыдущего опыта и находить неявные закономерности в данных, что очень схоже с моделью обучения человека, основанной на анализе совершенных или возможных ошибок.

Тем не менее, в отличие от человеческого мозга, ИИ лишён субъективности, эмоционального опыта и внутреннего контекста; совокупность которых формируют подлинно творческий объект. Нейросети обходятся имитацией этих процессов через математическое моделирование, что позволяет генерировать изображения, дизайн и другие формы визуального искусства с машинной точностью и скоростью, во много раз превосходящей человеческий мозг.

В настоящее время существует два основных подхода к созданию изображений, которые представляют собой вариации нейронной сети GAN: text-to-image и image-to-image (табл. 1) [2].

Первый вариант – на основе текстового описания (text-to-image). Работу нейросети по этому варианту можно представить в виде последовательных шагов: система анализирует текст, извлекая ключевые объекты и их взаимосвязи; производит поиск соответствующих визуальных представлений из обширной базы данных изображений и генерирует изображение, используя входные параметры. В этом случае чаще всего используется GAN (Generative Adversarial Networks) – архитектура глубокого обучения, работающая по принципу состязательности. Она включает в себя две нейронные сети: генератор и дискриминатор. Генератор, после получения запроса на создание изображения, стремится его воспроизвести. В свою очередь, дискриминатор проверяет изображение на соответствие заданным критериям, отбирая разные варианты, созданные генератором. Эта операция повторяется необходимое количество раз для получения качественного изображения.

Второй вариант – на основе исходных изображений (image-to-image). По этому варианту производится преобразование или улучшение существующих изображений, и работу нейросети можно представить в виде последовательных шагов: система создает правило

преобразования одного изображения в другое на основе обнаруженных закономерностей, и затем система применяет это правило для обработки новых изображений. При этом создаётся новый визуальный результат, основанный на исходной структуре, но с измененными стилистическими характеристиками. В этом случае чаще всего используется CycleGAN (Cycle-Consistent Generative Adversarial Networks). Это модель глубокого обучения, которая трансформирует изображения между двумя различными доменами. Как и в GAN, здесь также используются две нейронные сети: генератор и дискриминатор, однако их задействованы две пары. Одна пара преобразует изображение из домена А в домен В, а другая – обратно из В в А. Генераторы создают новые изображения, а дискриминаторы оценивают их на реалистичность.

С помощью сервиса Krea.AI были продемонстрированы возможности нейросети GAN по принципу работы image-to-image [3]. Результаты были сопоставлены с работами, созданными вручную, на соответствующую сгенерированным изображениям тематику (рис. 1).



Рис. 1. Сравнение реальной кровати по запросу: bed in gothic style с сгенерированным изображением по запросу: bed in gothic style, realism [3, 4]

Как видно на рис. 1, сгенерированный дизайн кровати в готическом стиле по принципу text-to-image с первого взгляда не уступает по эстетическим качествам изделию, созданному вручную. Ко всему этому присутствует вариативность, позволяющая выбрать один из сгенерированных дизайнов и его стилизацию. Тем не менее, сравнив заднюю стенку обеих кроватей, видна негармоничная компоновка элементов сгенерированного образца: задние столбы неуместно включены в дизайн, вследствие чего нарушается эстетическая целостность изделия. Ещё одним недостатком является то, что в настоящее время нейросети не способны предоставить точную информацию о сгенерированном изображении: технологии изготовления, материале изделия и его точных размерах.

Авторами был проведён эксперимент. Проводился социальный опрос среди студентов по сравнительной оценке вариантов, сгенерированных нейросетью, и вариантов, созданных человеком. Опрос показал, что варианты, сгенерированные нейросетью, уступают вариантам, созданным человеком в плане эмоциональной комфортности.

Таким образом, в настоящее время, генеративные нейронные сети целесообразно использовать дизайнеру в качестве оперативного генератора визуальных образцов проектируемого объекта. Часто в полученных генерациях наблюдаются эстетические ошибки и нарушение целостности. Ко всему этому нейросеть не позволяет получить конструкторские данные сгенерированного объекта. Однако при правильной интеграции в рабочий процесс ИИ спо-

собен существенно сэкономить время и оптимизировать работу. Важно понимать, что нейросети являются лишь инструментом, требующим творческого контроля и доработки со стороны профессионала.

Выводы

1. Генеративный искусственный интеллект позволяет художникам и дизайнерам оперативно визуализировать идеи проектируемых объектов.
2. Технологии генеративного искусственного интеллекта уже активно используются в индустрии дизайна, что служит доказательством их практического применения в творческом процессе.
3. Несмотря на высокое качество визуализации, в ИИ-дизайнах встречается негармоничная компоновка элементов, что может нарушить целостность объекта.
4. Работа искусственного интеллекта в основном сводится к комбинаторике.

Список литературы

1. Брендинговое Агентство Sostav [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sostav.ru/publication/dizajneru-61754.html/> (дата обращения 12.10.2024).
2. Xu B., Zhou D., Li W. Image enhancement algorithm based on GAN neural network // IEEE Access. – 2022. – Т. 10. – С. 36766–36777.
3. KREA Generative AI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.krea.ai/> (дата обращения 12.10.2024).
4. Gothic Rococo Vampire Bed [Электронный ресурс]. – URL: <https://ca.pinterest.com/pin/469359592386319853/> (дата обращения 12.10.2024).

Значимость ВЕБ-ДИЗАЙН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Прокопчук Д.Д.

ТПУ, студент-магистрант группы 8ИМ42

e-mail: DAS-H@yandex.ru

Научный руководитель Кухта М.С.,

профессор ОАР ИШИТР

e-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация

В данной статье будет проведено исследование и анализ роли веб-дизайна в современном мире, с целью выявления возможностей развития данной области. Непрерывное развитие интернета проникло во все аспекты человеческой деятельности. Эффективный веб-дизайн выходит за рамки простого эстетического оформления. Каждый проект должен воплощать уникальную концепцию, которая отражает индивидуальность, ценности и миссию компании. Такой дизайн не только привлекает пользователей, но и создает положительное впечатление, способствуя лояльности и конверсии. Одним из важнейших аспектов является привлечение пользователей через разработку интересного и оригинального сайта.

Цель. Заключается в изучении роли и классификации веб-сайтов, а также разборе актуальных трендов в современном веб-дизайне для формирования четкого вектора развития дизайна в будущем.

Метод. При исследовании данной темы использовался метод анализа и синтеза.

Ключевые слова: веб-дизайн, тренды веб-дизайна, веб-сайт.

Стремительное развитие интернета привело к экспоненциальному росту его пользовательской базы. В результате, люди все чаще используют интернет для поиска информации о продуктах, услугах и компаниях. Соответственно, предприятия активно развивают сегмент электронной коммерции. Веб-сайт служит виртуальным представительством компании или организации, где пользователи могут ознакомиться с ее предложениями и деятельностью. Он представляет собой мощный маркетинговый инструмент с многочисленными преимуществами для серьезных предпринимателей и предприятий. Веб-сайт является краеугольным камнем успешного онлайн-присутствия, а его продуманный дизайн играет решающую роль в повышении рейтинга. Существует различная классификация интернет-сайтов по их видам. Наиболее часто встречающиеся категории веб – сайтов включают:

Веб-сервисы. Крупные интернет – ресурсы, предназначенные для решения различных задач, таких как поиск информации, общение и другие. К ним можно отнести:

- Поисковые системы.
- Почтовые сервисы.
- Доски объявлений.
- Агрегаторы новостей.
- Социальные сети.

Корпоративный информационный веб – сайт.

Один из наиболее распространенных типов сайтов, целью которого является предоставление полной информации о компании, ее продуктах, услугах, истории, преимуществах и контактах. На таких сайтах также могут размещаться примеры выполненных работ, отзывы клиентов и сведения о предстоящих мероприятиях. Многие корпоративные сайты предлагают возможность приобретения товаров или услуг компании.

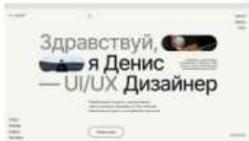
Интернет-магазин. Онлайн-ресурс, предлагающий товары или услуги, принимающий заказы на их покупку. Такой магазин может быть, как онлайн-версией обычного магазина, так и самостоятельной платформой в интернете.

Информационные сайты. Содержат разнообразную информацию, которая может быть интересна пользователям. Сюда относятся новостные ресурсы, тематические сайты и порталы.

Веб-дизайн постоянно развивается, появляются новые тренды, которые добавляют сайту привлекательность и вызывают интерес пользователя. Некоторые тренды сохраняют свою популярность из года в год, другие только начинают завоевывать популярность. Таким образом, существует несколько актуальных трендов в современном веб-дизайне, которые можно выделить:

Таблица 1

Актуальные тренды в современном веб-дизайне

Тренды	Описание	Пример
1. Яркие цвета	Популярными становятся красочные цветовые переходы, которые придают интерфейсу динамичность и энергию. Также в тренде сочетания цветов, вдохновлённые дизайном 80-х и 90-х и вызывающие ностальгию.	
2. Сложные градиенты	Градиенты могут иметь сложные переходы между цветами, создавая более интересные и динамичные визуальные эффекты.	
3. Минимализм	Большое количество воздуха и отсутствие декоративных элементов позволяют сфокусировать внимание посетителя сайта на контенте и продукте.	
4. Интерактивы	Анимированные переходы, скроллинг и взаимодействие с мышью или сенсорным экраном позволяют сделать сайт «залипательным» и запоминающимся.	
5. Крупная типографика	Огромные, а иногда просто гигантские кнопки с призывом к действию, на половину или всю ширину экрана, завоевали сердца многих дизайнеров.	
6. Острые формы	В этом году происходит активное возвращение к острым углам, более брутальным элементам и шрифтам.	

Цифровое пространство существенно влияет на потребительские взгляды и поведение. Интернет-культура воплощает ценности современного общества, а веб-дизайн активно формирует эстетические предпочтения, образ мышления и вкусовые пристрастия различных групп пользователей. Основная цель веб-дизайна заключается в продвижении товаров и услуг. Дизайнеры стремятся создавать сайты, которые не только функциональны, но и эстетически привлекательны, удобны в навигации, адаптивны и оптимизированы для различных устройств. Выполнение этих задач позволяет сайтам удерживать внимание пользователей и стимулировать продажи. Таким образом, веб-культура и дизайн оказывают значительное влияние на формирование взглядов и потребительских моделей поведения в современном обществе.

Вывод

влияние веб-дизайна на стратегию цифрового маркетинга трудно переоценить; он является ключевым элементом в восприятии бренда. Эффективное использование веб-дизайна является необходимым условием для успешного развития бизнеса в условиях цифровой эпохи. Правильно выбранное направление в веб-дизайне поможет создать адекватное восприятие информации и задаст эмоциональный тон взаимодействия с клиентами. Поскольку достаточно большое время человек уделяет цифровой среде. Спрос потребителя напрямую влияет на появление определенных трендов в веб-дизайне и поднятие или деградация культуры пользователей. Ожидается, что тенденции, включающие анимацию и минимализм, сохранят свою популярность в следующем году. Анимация привлекает внимание, а минималистичный дизайн без отвлекающих элементов обеспечивает адаптивность сайта к различным устройствам.

Список литературы

1. Пурас И.Ю. Современные тренды в графическом дизайне. Бизнес и дизайн ревю. 2016. – 8 с.
2. Джон Дакетт. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. 2013. – 22 с.
3. Дэвид Скляр. Изучаем PHP 7. Руководство по созданию интерактивных веб-сайтов. 2017, 140 с.
4. Аарон Уолтер. Эмоциональный веб дизайн. 2008. – 15–16 с.
5. Снегирев А.Н. Интернет-сайт как эффективный инструмент для достижения стратегических целей компании / А.Н. Снегирев // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2017. – № 2. – С. 138–146.

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ

*Карелин С.Ю., студент 3 курса ФГАОУ ВО НИ ТПУ
Соколов А.П., к.н.т., доцент кафедры ШБИП ФГАОУ ВО НИ ТПУ
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
e-mail: syk20@tpu.ru*

В последнее время имеется возрастающий интерес к созданию различных устройств в области светотехники. На данный момент светильники выполняют не только для их основной функции – осветительной, но и для декоративной и развлекательной.

Цель исследования – увеличение разнообразия светильников. Основная задача – выявить факторы, влияющие на декоративность светильников.

Для выполнения задачи, возьмем за основу определения данного термина. Декоративность [1] (от лат. decoro – украшаю) – качественная особенность произведения искусства, определяемая его композиционно-пластическим и колористическим строем и выступающая как одна из форм выражения красоты.

Создатели, изобретая данное устройство, все больше делают акцент на дизайн. Также сейчас изобретатели пытаются углубиться в тему динамического изображения, создаваемого светильником, что пользуется большим спросом.

Декоративность включает в себя следующие параметры:

1. Динамичность. Параметр, характеризующий подвижность устройства.
2. Вариабельность (вариативность). Легкая смена формы светильника.
3. Интерактивность. Обеспечение, позволяющее управлять устройством.
4. Объемность. Индивидуальность формы корпуса

Вариабельность ограничивается технологиями и рамками декора, следовательно, чем выше арсенал технологий и чем больше различных стилей, тем выше вариабельность продукта. Также нужно совершенствовать управление так, чтобы человек, управляющий светильником не чувствовал давления на себя.

В конструкции светильника [2] можно отметить три основные части: корпус, источник света, декор. В системе «Источник света – человек» (рис. 1) важную роль играют устройство обратной связи и устройство управления световым потоком. Интерактивность помогает камуфляжу управления, основную роль выполняет встроенная программа, а не сам человек. Например, можно использовать в светильниках систему адаптации к температурным условиям комнаты.

Обратимся к патентной литературе при исследовании источников света. Патентная литература даёт возможность выявить тенденции развития и заинтересованности исследований в данной сфере. Результаты патентных исследований представлены на рис. 2 и рис. 3.



Рис. 1. Система «Источник света – человек»

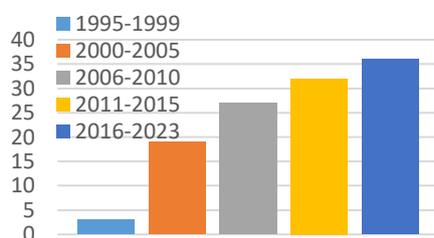


Рис. 2. График патентования светильников (по российским патентам)

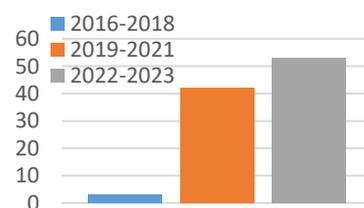
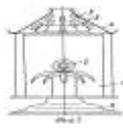
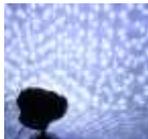


Рис. 3. График патентования светильников (по зарубежным патентам)

С помощью патентного поиска были выявлены различные виды декоративных эффектов, а также перспективы развития (табл. 1).

Таблица 1

Классификация способов декорирования светильников

Название направления декорирования	Варианты исполнения	Декоративный эффект	Перспективы развития
Управление световым потоком	 [3]	Рассеивание света	Совершенствование управления так, чтобы человек, управляющий светильником не чувствовал давления на себя
Управление источником света	 [4]	Разнообразие цвета и управление им	Добавление режимов возможности «играть цветами»
Туннельный эффект	 [3]	Ощущение бесконечности источников света	Использование в качестве вывесок на улицах
Дождик	 [4]	Светильник представляется живым перед человеком	Красиво вписывается в интерьер, можно добавить светодиодную подсветку и возможность переливания
Снег	 [4]	Светильник при помощи рассеивания света на отдельные пучки создает ощущение «снегопада»	Использование различных источников и размеров светильника
Корпус – абажур	 [4]	Рассеивание света	Использование новых материалов для создания корпуса
Корпус – муаровые полосы	 [4]	Создание необычного узора на корпусе светильника	Возможность использования разные оттенки цвета источника и материалов корпуса
Корпус – дифракционная решетка	 [3]	Прохождение света через такие решетки создает интерференционный эффект	Развитие использования в коммерческих заведениях и на улице в качестве декораций
Светильник Rain: капли света	 [5]	За счет преломления света и использования микронасоса, создается эффект разбегающихся волн	Использование жидкости в светильнике, как новый этап развития данной индустрии

Таким образом, можно выделить основные факторы, влияющие на декоративность светильников: динамичность, вариабельность, объемность, интерактивность.

Для увеличения вариативности существует несколько основных направлений: расширение арсенала технологий, использование общепринятых (узнаваемых) образов, увеличение количества стилей, ручное исполнение светильника. Если ставится цель – серийное производство светильников, то ручное исполнение – трудозатратный метод расширения декоративности.

Выводы

1. Ручное исполнение объекта повышает вариативность, но в таком случае повышаются и затраты на изготовление.
2. Эксклюзивность достигается путем неповторимого дизайна и возможностей прибора.
3. При серийном производстве затраты уменьшаются, но и вариативность понижается за счёт стандартизации используемых технологий.
4. В настоящее время наблюдается тенденция развития и расширения применения динамических картин, создаваемых источником света.

Список литературы

1. Гусакова И.М. Изобразительные условности художественного языка декоративно-прикладного искусства / И.М. Гусакова // Право и практика. – 2016. – № 4. – С. 268–272.
2. Богданов А.Д. Сравнительный анализ расчета систем освещения различного типа / А.Д. Богданов, Р.В. Солопов // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 9–13.
3. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления [Электронный ресурс]: издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2008. – URL: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=173511>.
4. Сделай своими руками // Subscribe. – URL: <https://subscribe.ru/group/izdeliya-sdelannyie-svoimi-rukami/>.
5. Светильник Rain: капли света // Техкульт URL: <https://www.techcult.ru/gadgets/2342-svetilnik-rain>.

ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ И ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПСИХИАТРИЧЕСКИХ БОЛЬНИЦ

Будянская Е.А.¹, Кухта М.С.²

¹ТПУ, ИШИТР, аспирант группы А4-64,
e-mail: kkbudyanskaya@gmail.com

²Научный руководитель, д. филос. н., профессор ОМ ИШНПТ ТПУ,
e-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация

В статье рассмотрены существующие проблемы дизайн-проектирования пространственных объектов в психиатрических больницах, а также предложены принципы дизайн-проектирования пространственных объектов, улучшающие лечебно-реабилитационный потенциал больниц.

Ключевые слова: терапевтическая среда, дизайн-проектирование, пространственные объекты, эргодизайн.

Введение

Основной задачей дизайн-проектирования в учреждениях психической реабилитации является создание комфортной и безопасной среды для пациентов, а также обеспечение удобства работы персонала.

Большинство психиатрических стационаров в России было спроектировано и возведено в конце 19 – начале 20 века.

Томская областная клиническая психиатрическая больница (ТКПБ) является самым старым и крупнейшим учреждением подобного типа в Сибири. Её история начинается с 1899 года, и в октябре 2008 года больница отпраздновала столетие. ТКПБ представляет собой значимое медицинское учреждение, оборудованное для круглосуточного обслуживания и располагающее 1205 койками. Большая часть корпусов ТКПБ является объектами культурного наследия регионального значения (рис. 2).

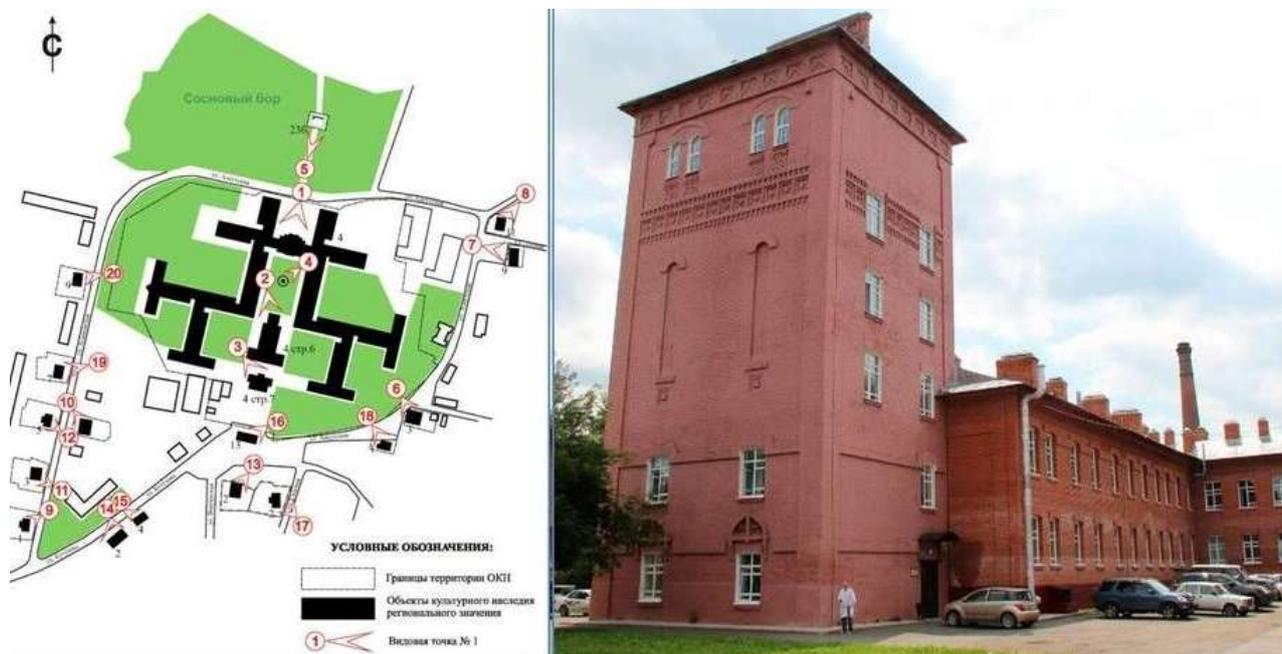


Рис. 1. Схема размещения объектов культурного наследия регионального характера, современный вид ТКПБ

До недавнего времени проектирование и организация психиатрических стационаров не включали в себя должное внимание к таким важным аспектам реабилитации, как дизайн-проектирование пространственных объектов.

Основная часть

Накопившиеся проблемы, связанные с устаревшими и неприспособленными под особенности пациентов психиатрических больниц пространственными объектами, создают потребность в реорганизации подхода к дизайн-проектированию объектов средового дизайна.

Исходя из специфики психиатрических стационаров сформулированы нижеследующие особенности дизайн-проектирования пространственных объектов.

В стационарах следует создавать, насколько это возможно, доброжелательную, домашнюю среду посредством пристального внимания к эргономике и особенностям дизайн-проектирования средовых объектов.

На сегодняшний день, рассмотрено на примере 16 наркологического отделения ТКПБ (рис. 3), в отделениях больниц превалирует обстановка обезличенная, заштампованная.

В отделениях ТКПБ присутствуют предметы средового дизайна, использующиеся в обычных офисных помещениях, школах, университетах. Данные пространственные объекты имеют неприглядный внешний вид и не приспособлены для пользования людьми с несохранными физическими способностями.

Используемые объекты средового дизайна не безопасны как для самых пациентов, так и для медицинского персонала, т. к. имеют острые углы, металлические детали, не закреплены к полу и (или) стене. Материалы, используемые при создании вышеописанных объектов, не являются водостойким и антивандальным. Вследствие вышеописанных факторов, объекты окружающей среды в отделениях имеют изношенный вид, что добавляет угнетения в окружающую обстановку.

Аспекту износостойкости используемых материалов следует уделить особое внимание. Пациенты психиатрических больниц чаще остальных физически не сохранны (тремор, эпилепсия, нервные тики, недержание мочи). Следует использовать материалы водостойкие, прочные и антивандальные, вместе с тем необходимо учитывать комфорт и внешний вид используемых материалов.

Следует применять специальные материалы и мебель, которые являются не травмоопасными. Важно минимизировать вероятность того, что различные предметы быта могут стать инструментами для проявления агрессии и аутоагрессии, следует отказаться от острых углов и краев у мебели и бытовых предметов, предусматривать наличие сменных деталей, подстраивающихся под рост и вес конкретного человека, наличие мягкой обивки на потенциально опасных местах и пр.



Рис. 2. Наркологическое отделение № 16 ТКПБ (фотографии взяты с официального сайта ТКПБ)

В ТКПБ используются «венские» стулья (рис. 3). Общие габариты таких стульев; Ш×Г×В – 45×57×97,5 см., размеры сиденья: Ш×Г – 37×41 см, высота от пола – 45 см. Данный тип стульев используется в различных помещениях: столовая, помещения для досуга (рисование, чтение книг, просмотр фильмов), места для встречи с родственниками, палаты.

Когда речь идет о пациентах психиатрических больниц, использование данного типа стульев не является эргономичным и доставляет дискомфорт пациентам, так как многие пациенты имеют физические особенности. Вместе с тем, подобный вид стульев небезопасен для самих пациентов, и представляет опасность для персонала в случае вспышки агрессии у пациентов.

Столы, используемые в отделениях (рис. 3), также являются эргономически неэффективными и неудобными для использования. За такими столами сидят по 4 или по 6 человек, таким образом, каждый из пациентов сильно ограничен в пространстве, не имеет возможности опереть на стол локти обеих рук. Следует учитывать физические особенности, упомянутые в настоящей статье, которые также доставляют дискомфорт в условиях ограниченного пространства. Следует проектировать объекты средового дизайна с целью минимизации физического контакта пациентов.

Проблема, связанная с организацией ванной комнаты и санузла, заключается в необходимости сочетания необходимых мер безопасности пациентов и их права на личное пространство. Важно, чтобы в санузле отсутствовали открытые трубы и потенциально опасные точки крепления, все полки и другие элементы интерьера следует проектировать конструктивно неразъемными.

При разработке дизайна палаты следует предусматривать использование безопасных и небьющихся художественных произведений. Дополнительно можно внедрить элементы, которые не представляют угрозы для пациентов, такие как маркерные доски или коврики. Данные приемы помогут создать более очеловеченную и домашнюю атмосферу в палатах. Кроме того, в помещениях должны быть встроенные и фиксированные столы и полки для хранения вещей пациента, что обеспечит необходимую безопасность и комфорт. Кровать следует располагать на прочной и тяжелой платформе, с округлыми краями. По необходимости можно установить ограничители на боковых сторонах кровати.

В общественных зонах, таких как комнаты для отдыха, кабинеты групповой психотерапии, столовая, места для встреч с родственниками меры безопасности обязательны для соблюдения. Важно обеспечить наличие прочных стульев и столов, которые невозможно легко бросить или разобрать, а также использовать в качестве оружия агрессии или самоагрессии. В интерьере также следует активно размещать надежно закрепленные произведения искусства, что создаст ощущение пассивной арт-терапии.



Рис. 3. Стулья и столы в столовой ТКПБ, стулья и столы в помещении для творчества ТКПБ

Заключение

В настоящей статье представлены актуальные взгляды на организацию психиатрических учреждений, ориентированные на создание комфортной и безопасной среды. Основное внимание уделяется важности дизайнерского аспекта в стационарных медицинских учреждениях, который оказывает значительное влияние на процесс лечения и реабилитации лиц с психическими расстройствами.

Эргономические аспекты дизайна пространственных объектов в больничных условиях психической реабилитации имеют решающее значение для создания безопасности и комфорта для пациентов, а также для повышения продуктивности работы медицинского персонала. Это способствует формированию оптимальной обстановки для лечения и восстановления людей, страдающих от психических заболеваний.

В процессе дальнейшей работы по данной тематике планируется дизайн-проектирование и разработка объектов средового дизайна, с учетом сформулированных в данной статье особенностей.

Список литературы

1. Brown MJ, Jacobs DE. Residential Light and Risk for Depression and Falls: Results from the LARES Study of Eight European Cities. *Public Health Rep.* 2011;126(Suppl 1):131–140. DOI: 10.1177/00333549111260S117.
2. Ulrich R, Zimring C, Zhu X, DuBose J, Seo H-B, Choi Y-S, Joseph A. A review of the research literature on evidence-based healthcare design. *HERD.* 2008;1(3):61–125. DOI: 10.1177/193758670800100306.
3. Кухта М.С. История и методология дизайн-проектирования: учебник. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2021. – 154 с.
4. Палин А.В., Нарышкин А.В., Папсуев ОО. Медико-реабилитационное отделение в системе психиатрической помощи: совершенствование структуры и содержания работы. *Социальная и клиническая психиатрия*, 2015; (25):60–64.
5. Хомятов М.Р., Самушия М.А., Денисов Д.Б., Крыжановский С.М., Вдовина И.В., Борчиных А.Е. Реабилитационный потенциал архитектурно-ландшафтных компонентов психиатрических медицинских организаций. *Психиатрия*, 2023;21(2):17–27.
6. История и методология дизайн-проектирования. Методическое указание по курсу «История и методология дизайн-проектирования» М.МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015 г. – 104 с.
7. Оленникова М.Е. Опыт формирования терапевтической среды для людей с особенностями психического развития.
8. Прощаев К.И. Терапевтическая среда в домах-интернатах для пожилых граждан и инвалидов: уч.-метод. пособие; под ред. К.И. Прощаева и др. – М., Белгород: Белгор. обл. тип., 2012. – 172 с.

СТИЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВ РУССКОЙ КУЛЬТУРЫ КАК СПОСОБ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ ГЛОКАЛИЗАЦИИ

Бурнышева Е.С.¹, Давыдова Е.М.²

*¹ТПУ, ОАР ИШИТР, гр. 8ИМ42,
e-mail: esb32@tpu.ru*

*²ТПУ, ОАР ИШИТР, ст. преподаватель,
e-mail: davydova@tpu.ru*

Введение

Глобализация – явление XXI века, охватившее все сферы нашей жизни. В результате глобализации мир становится более взаимосвязанным за счёт обмена информацией, знаниями, культурными ценностями и материальными вещами. Этот процесс имеет как положительные, так и отрицательные аспекты, связанные с экономикой, политикой, наукой, социальными взаимоотношениями, экологией [1]. Глобализация коснулась также и культурной сферы нашей жизни. Глобализация в сфере культуры имеет серьёзные для человечества последствия. Распространение массовой культуры постепенно приводит к снижению внимания к отдельным культурам народа, что несёт за собой необратимые потери в духовной жизни общества. В отличие от культуры прошлых веков, глобальная культура не обладает исторической памятью, пронизанной этнонациональными смыслами и традициями, которые передавались из поколения в поколение [2].

Глокализация

Последнее десятилетие активно получил распространение процесс глокализации, подразумевающий сохранение и усиление региональных и локальных отличий, вместо их ожидаемого исчезновения на фоне глобализации [3]. В дизайне под этим понятием понимается применение образов культурных традиций различных народов в визуальных образах объектов. Таким образом, глокализация – процесс, обратный унификации – приведению к единой образной системе или форме.

Применение мотивов локальной культуры в дизайне промышленных объектов может быть способом в борьбе с культурной глобализацией в целях сохранения культурного наследия народа. Такие объекты не будут слишком явно передавать образ, а будут напоминанием, тонко отражающим особенность той или иной культуры. Массовое распространение таких объектов будет вносить локальную культуру в повседневность и способствовать её сохранению и расширению.

Русский культурный код

Говоря о русской культуре, необходимо рассмотреть такое понятие, как культурный код: его можно определить как ключ к пониманию определённого типа культуры. Это то, что помогает идентифицировать культуру, отличить её от другой. К нему относятся культурные особенности, передающиеся через поколения, закодированная в некой форме информация.

Далее будут приведены черты, присущие объектам промышленного дизайна, которые доминируют в продукции локальных брендов и дизайнеров России [4]:

- простые в обработке материалы, преимущественно натуральные;
- обращение к «корням» в той или иной форме;
- проявление стыка дизайна, искусства и ремесла.

Глокализация в промышленном дизайне

Сегодня можно отметить распространение однотипных промышленных объектов, отражающих в своём дизайне лаконичность, простоту, часто минимализм. Например, большое количество российских производителей мебели создают свою продукцию в скандинавском стиле или стиле лофт, пытаясь подражать тому или иному мировому бренду. Таким образом, многие производители не вносят в дизайн уникальности, становясь похожими друг на друга. Поэтому

углубляться в локальные культуры народа важно не только для борьбы с глобализацией, но и по причине того, что в промышленном дизайне теряется уникальность и разнообразие.

Идеи «локального» внедряются в промышленный дизайн и используются в промышленном производстве в первую очередь благодаря мировым дизайнерским школам. В России на это оказывает влияние, например, конкурс «Придумано и сделано в России». Это всероссийский конкурс предметного дизайна. Миссия проекта – формирование актуального образа российского дизайна. Также идеи локального дизайна распространяются благодаря отдельным дизайнерам, локальным брендам и дизайн-студиям, работающим в данном направлении.

Способы формообразования в дизайне промышленных объектов

Сегодня в дизайне существует большое количество примеров использования мотивов русской культуры. На основании результатов проведённого обзора аналогов было выделено несколько способов:

- Стилизация образа.

В данном способе в качестве основы формообразования используется визуальный образ выбранного конкретного объекта культуры, который впоследствии стилизуется.

- Применение в объектах мотивов народных промыслов.

Данный способ подразумевает использование в объектах мотивов народного творчества: цвета, элементов росписей, таких как, например, гжель, хохлома, городецкая роспись, а также использование декоративного письма, например, вязи.

- Заложение традиции в функцию.

Применение данного способа подразумевает заложение определённой народной традиции в функцию предмета.

- Аллегория и ассоциации, образ мыслей и поведения, состояние души.

Этот способ предполагает передачу не визуального образа культуры, а заложение в объект определённого смысла, ассоциации, чего-то неосознанного.

- Доработка существующих объектов культуры в контексте современности.

Данный способ подразумевает адаптацию существующих объектов народной культуры в современность.

- Использование натуральных материалов.

Применение данного способа подразумевает использование в дизайне объектов натуральных, природных материалов, преимущественно дерева.

Говоря о формообразовании в дизайне, нельзя не отметить роль образа и его влияние на восприятие пользователя. Уже на этапе проектирования современному дизайнеру необходимо учитывать смыслы вещи, которые будут актуализированы в процессе её восприятия, потому как качество формы становится определяющим для смыслоёмкости вещи, а смысл и форма неразрывно связаны между собой [5].

Создание авторских эскизов

1. Стилизация Городецкой росписи в комплекте игрушек

Данный эскиз является стилизацией образов, взятых из сюжетов изделий, выполненных в технике Городецкой росписи, воплощённой в комплекте деревянных игрушек. Одной из характерных особенностей Городецкой росписи являются разнообразные сюжеты: праздники, прогулки, чаепития, охота, свидания и многие другие. При создании данного эскиза был выбран сюжет семейного чаепития, что является некой русской традицией. Таким образом комплект, как другие народные игрушки, будет выполнять ряд функций: воспитывать любовь к традициям, сближать с народным материалом, передавать образы естественными, такими, какие они есть, без излишеств и прикрас (рис. 1).



Рис. 1. Стилизация Городецкой росписи

2. Стилизация куполов в подвесном светильнике

За основу формообразования плафона были взяты стилизованные купола соборов. Эскиз представлен в двух цветовых решениях: первое – для куполов Софийского собора, второе – для храма Василия Блаженного. Однако задачей было не передать образ конкретного собора, а создать образ русского собора в целом (рис. 2).



Рис. 2. Стилизация куполов соборов

3. Стилизация орнамента Вологодского кружева

В качестве данного эскиза был взят и упрощён образ одного из изделий в технике Вологодского кружева. Далее в графическом редакторе полученный рисунок был нанесён на несколько объектов – тарелку и ковёр – для демонстрации того, как полученный образ может использоваться в промышленном дизайне (рис. 3).



Рис. 3. Стилизация мотива Вологодского кружева

4. Стилизация коры берёзы

В данном эскизе продемонстрированы примеры стилизации чечевичек – чёрных полос на стволе берёзы. Несмотря на то, что берёза распространена во многих странах мира, именно в России она считается неким культурным символом. В дальнейшем полученная стилизация была использована в дизайне комплекта светильников (рис. 4).



Рис. 4. Стилизация коры берёзы

Заключение

Таким образом, было выявлено, что с помощью промышленного дизайна можно повлиять на процесс глобализации культуры путём углубления в локальные культуры и отражения их особенностей и ценностей в объектах промышленного дизайна. Так будет повышаться рост интереса и внимания к отдельным культурам, что позитивно скажется на уровне культуры в целом.

Список источников

1. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Глобализация в перспективе устойчивого будущего // Юридические исследования. – 2013. – № 5. – С. 1–63.
2. Голубинская А.В. Диверсификация и унификация культур в глобальном веб-пространстве // Век глобализации. – 2017. – № 1.
3. Гутарева Н.Ю. Проблема глобализации современной культуры // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 1278–1280.
4. Культурный код как основа для формирования локального стиля [Электронный ресурс]: Design mate – URL: <https://design-mate.ru/read/an-experience/small-homes-grand-livinghttps://design-mate.ru/read/an-experience/cultural-code-local-style>.
5. Кухта М.С. История и методология дизайн-проектирования: учебник. Часть I. История дизайн-проектирования // М.С. Кухта; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2021. – 154 с.

КОНСТРУКЦИЯ И ДИЗАЙН ВЕНСКОГО СИФОНА

Вишнякова Н.Ф.¹, Кухта М.С.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31
e-mail: nfv2@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор
e-mail: kuhta@tpu.ru

Венский сифон для варки чая и кофе (он же габет, вакуумный или балансирный сифон, венская сифонная машина).

Венский сифон – это удивительное по эстетичности и практичности приспособление для приготовления кофе. Её внешний вид и принцип действия не изменились с XIX века, когда она была представлена широкой публике. Сочетание натурального дерева, стекла и блестящего металла придаёт кофеварке особую элегантность, а сама она больше напоминает произведение искусства, чем кухонную утварь. Такой прибор привлекает внимание и может стать достойным украшением любого интерьера, а процесс приготовления кофе превращается в настоящее представление.



Рис. 1. Венский сифон

Впервые сифон был представлен в Вене в середине позапрошлого века. Церемония состоялась во время приёма во дворце австрийского императора. Гостей угощали кофе, который готовился прямо на их глазах. Это произвело неизгладимое впечатление на королевских гостей. Сифон тут же получил название «Венская кофеварка», вошел в моду и стал неотъемлемой частью любого светского приёма.

Кофеварка оказалась не только красивой и удобной, но ещё варила отличный кофе. В ней можно было заваривать и чай, однако это делали редко: после феерического представления во дворце императора Австрии Франца Иосифа I, за сифоном прочно закрепилась репутация приспособления для варки кофе.

Конструктивные элементы Венского сифона (сифонной кофеварки):

- деревянная подставка для двух колб;
- стеклянная колба с крышкой;
- металлическая колба с краном и крышкой, снабжённая противовесом;
- змеевик с фильтром на конце, соединяющий колбы;
- спиртовка.



Рис. 2. Конструкция Венского сифона

В основе работы сифона лежит один из трёх газовых законов – закон Бойля-Мариотта.

Конструкция состоит из двух сосудов, соединённых трубкой. Металлическая ёмкость, в которую заливают воду, снабжена противовесом. Под ней расположена спиртовка.

В стеклянный сосуд засыпают молотые кофейные зёрна. В металлическую колбу наливают воду. Сосуды соединяют трубкой и оба плотно закрывают крышками. Далее надо поджечь горелку и подождать пока жидкость закипит. Как только это произойдёт, кипящая вода начнёт через трубку переливаться в колбу с кофе.

Важный момент: пока вода поднимается по трубке, она успевает остыть на несколько градусов. Поэтому, когда она достигает молотого кофе, её температура уже не $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а примерно $96\text{--}97^{\circ}$, что является оптимальным для заваривания.

Как только вода полностью переместится в стеклянную колбу, металлическая колба поднимется (под действием противовеса), крышка спиртовки освободится и потушит огонь. Теперь вследствие остывания в металлической ёмкости начнёт понижаться давление, и заварка по той же трубке станет перетекать в обратную сторону. При этом она будет фильтроваться благодаря сетке, установленной на одном из концов змеевика. Как только процесс перетекания завершится, можно открывать кран и наполнять чашку насыщенным ароматным напитком. Весь процесс занимает до 10 минут.

Как уже упоминалось выше, венский сифон можно использовать для заваривания чая. Сифон идеально подходит для заваривания таких сортов, как Пуэр и Фу Шоу Хей Ча, для которых особенно важно сохранить мягкость вкуса и тонкость аромата.

В настоящее время Венский сифон собирают всего несколько компаний в небольшом количестве, в основном в качестве сувениров и штучных подарков. Этот прибор сохранил свой аристократический вид и популярность среди ценителей кофе и старины.

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. Венская кофеварка – удивительное устройство для кофе и чая // <https://sambacafe.ru/venskaya-kofevarka/>.
3. История и методология дизайн-проектирования: учебник. В 2 частях. Часть 1. История дизайн-проектирования / М.С. Кухта; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 154 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

*Гарифуллин Ф.,
НИ ТПУ, ИШИТР, студент группы 8ИМ42,
e-mail: fagb@tpu.ru
Научный руководитель: Кухта М.С., профессор ОАР ИШИТР,
e-mail: kuhta@tpu.ru*

Введение

Технологичность конструкции является ключевым фактором конкурентоспособности изделия в условиях современной экономики. Она определяет, насколько эффективно изделие может быть спроектировано, изготовлено и использовано, влияя на себестоимость, качество и сроки производства [1]. В промышленном дизайне технологичность конструкции оценивается по ряду показателей, таких как материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость процесса проектирования и производства. Снижение трудоемкости особенно важно, поскольку оно позволяет оптимизировать процесс разработки, сократить затраты и повысить качество изделия, что особенно актуально в высокотехнологичных отраслях.

Практическая деятельность промышленного дизайнера нередко связана с необходимостью оперативного создания трехмерной модели объекта. Например, дизайнеру может быть поставлена задача спроектировать изделие, дополняющее уже существующий объект, либо создать модель на основе какого-то референса. Однако, далеко не всегда имеется готовая модель основного объекта, что требует от дизайнера создать её «с нуля» в кратчайшие сроки. Это создает дополнительную нагрузку на процесс проектирования и напрямую влияет на трудоемкость, а значит, и на общую технологичность конструкции. В конечном итоге, время, затраченное на разработку концепта, становится важным параметром, влияющим на экономичность и скорость всего производственного цикла.

В данном исследовании анализируется влияние скорости процесса моделирования сложных объектов на технологичность продукции. Целью работы является выявление и систематизация подходов к созданию трехмерных моделей промышленного объекта в кратчайшие сроки. В статье будут рассмотрены четыре основных подхода к моделированию: логическое (булево), полигональное, NURBS-моделирование, а также использование нейросетей для генерации базовой модели [2]. Особое внимание будет уделено объективной оценке времени, необходимого для создания модели, при этом субъективные факторы, такие как уровень подготовки специалиста, учитываться не будут.

Основная часть

Оценка времени на реализацию трехмерной модели – важный этап планирования в промышленном дизайне, который помогает оптимально распределить ресурсы и в конечном итоге улучшить технологичность продукта. Точные расчеты позволяют дизайнеру выбрать подходящий метод моделирования в зависимости от задачи и характеристик объекта. При этом важно учитывать такие факторы, как сложность модели, выбранный метод моделирования и количество деталей, так как они напрямую влияют на трудоемкость процесса и на конечную технологичность конструкции.

Расчет времени создания модели

Время, необходимое для создания модели, обозначим как T_{total} . Оно зависит от сложности объекта, выбранного метода моделирования и количества деталей. Для удобства разделим модели по уровню сложности на три категории: простые, средней сложности и сложные. Уровень сложности модели можно выразить с помощью коэффициента $C_{complexity}$, где простые модели имеют коэффициент сложности $C_{complexity}=1$, средней сложности – $C_{complexity}=1.5$, а сложные – $C_{complexity}=2$.

Метод моделирования также оказывает влияние на общую трудоемкость. Логическое (булевое) моделирование является наиболее быстрым, зададим ему базовый коэффициент $M_{method} = 1$. Полигональное моделирование требует больше времени на работу с сеткой и ему присваивается коэффициент $M_{method} = 1,5$. NURBS-моделирование, обладающее высокой точностью, но требующее больше ресурсов, получает коэффициент $M_{method} = 2$.

Общее время на создание модели T_{total} можно рассчитать по формуле:

$$T_{total} = T_{base} \cdot C_{complexity} \cdot M_{method} \cdot N, \quad (1)$$

где T_{base} – базовое время для создания одной простой детали; $C_{complexity}$ – коэффициент сложности модели; M_{method} – коэффициент метода моделирования; N – количество простых деталей в модели.

Основное влияние на итоговое время оказывают сложность модели и выбранный метод моделирования. Эти параметры определяются исходными требованиями к проекту, поэтому изменить их довольно сложно: сложность диктуется задачей, а выбор метода моделирования – необходимым уровнем точности и детализации. Однако на базовое время T_{base} мы можем повлиять, внедряя нейросети [3] на раннем этапе моделирования. Нейросеть позволяет сократить трудозатраты на первичное создание формы, генерируя базовую модель за считанные минуты. Таким образом, мы не меняем сложность объекта и не отказываемся от подходящего метода, но оптимизируем начальные этапы, благодаря чему T_{base} значительно сокращается. Тогда, путь к получению финальной модели можем представить в виде рис. 1.



Рис. 1. Подходы к созданию модели объекта

Теперь внедрим в формулу расчета (1) нейронную сеть и получим следующее выражение:

$$T_{total_{optimized}} = T_{neural} + (T_{base} \cdot C_{complexity} \cdot M_{method} \cdot N_{refinement}), \quad (2)$$

где T_{neural} – время, затраченное нейросетью на генерацию базовой формы; $N_{refinement}$ – количество деталей, которые нужно уточнить.

Рассмотрим на примере работу данного метода. Допустим, стоит задача реализовать модель токарного станка с ЧПУ. Обычно это занимает значительное количество времени из-за сложности и детализации модели. Однако, используя нейросеть, мы можем получить базовую форму станка всего за T_{neural} , а затем уточнить форму за время, пропорциональное T_{base} скорректированное на сложность объекта и выбранный метод.

Подставим реальные значения в формулу с моделированием без использования нейросети и с учетом внедрения нейросети. Получим, что с учетом внедрения нейросети в работу скорость моделирования увеличивается в разы. Результат моделирования токарного станка с ЧПУ представлен на рис. 2.



Рис. 2. Результат создания модели токарного станка с ЧПУ

Заключение

В данной статье рассмотрено, как выбор подхода к моделированию влияет на скорость разработки и, следовательно, на технологичность конструкции в промышленном дизайне. В современных условиях, когда требуется оперативное создание трехмерных моделей для сложных объектов, использование комбинированных методов моделирования, включая нейросети и логическое моделирование, позволяет значительно сократить трудоемкость и временные затраты.

Нейросети обеспечивают быструю генерацию базовой формы, что позволяет ускорить начальные этапы проектирования и создать удобный референс для дальнейшей доработки. Логическое моделирование, в свою очередь, позволяет быстро и точно доработать модель, адаптировав её под производственные требования. Это делает процесс более гибким и технологичным, снижая общую себестоимость изделия и сокращая сроки производства.

Таким образом, комбинированный подход, использующий как нейросети, так и традиционные методы моделирования, оптимизирует процесс создания 3D-моделей, улучшая технологичность конструкции. В результате промышленный дизайнер может создавать более конкурентоспособные изделия, которые отвечают требованиям современного рынка по качеству, времени разработки и производственным затратам.

Список литературы

1. Кухта М.С., Кумани В.И., Соколова М.Л., Гольдшмидт М.Г. Промышленный дизайн: учебник / под ред. И.В. Голубятникова, М.С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 312 с. – ISBN 978-5-4387-0205-4.
2. Тимофеев Н.А. Задачи оптимизации процесса полигонального моделирования / Н.А. Тимофеев // Шаг в науку: Материалы II межвузовской научно-практической конференции для магистрантов, аспирантов и студентов выпускных курсов, Новосибирск, 07–08 декабря 2023 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2023. – С. 131–138. – DOI:10.55648/978-5-91434-097-8-134-141. – EDN TVXJHT.
3. Ершов С.А. Применение искусственного интеллекта в 3D-моделировании и анимации: анализ доступных технологий / С.А. Ершов // Современные исследования как фактор устойчивого развития: Сборник статей III Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 21 марта 2024 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. – С. 76–80. – EDN IGVZTW.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ И СКЛАДНОГО МЕХАНИЗМА ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СУМКИ

*Годунова А.Е., студент 4 курса, гр. 8Д11
Кухта М.С., научный руководитель, д. филос. н., профессор,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: aeg19@tpu.ru
e-mail: kuhta@tpu.ru*

В современном мире, где ритм жизни ускоряется с каждым днем, проблема мобильности и удобства становится особенно актуальной для пожилых людей. Одним из эффективных решений этой проблемы является складная хозяйственная сумка на колесах. Такой аксессуар может играть важную роль в повседневной жизни пенсионеров, помогая им сохранять активность и независимость.

Пожилым людям зачастую сложно переносить тяжелые пакеты с продуктами, особенно если речь идет о длинных дистанциях или подъеме по лестнице. Складная хозяйственная сумка позволяет значительно снизить нагрузку на спину и руки, предотвращая травмы и усталость. Колеса обеспечивают плавное передвижение, что делает процесс шопинга менее утомительным и безопасным. Особенную роль во время покупок играет наличие сидения на хозяйственной сумке, которое дает возможность остановиться и отдохнуть от тяжелого пути в любой удобный момент. Складная сумка легко помещается в багажник автомобиля или общественный транспорт, что позволяет пенсионерам без проблем добраться до магазинов. Кроме того, сумка компактна и занимает мало места в квартире, что особенно ценно для тех, кто проживает в малогабаритных жилищах. Она также легко моется и чистится, что обеспечивает гигиеничность и долговечность использования. Использование складной сумки способствует социальной активности пожилых людей. Возможность самостоятельно ходить в магазины и выбирать нужные продукты повышает самооценку и уверенность в себе. Это помогает избежать чувства изоляции и зависимости от окружающих, что положительно сказывается на психическом здоровье. Также, использование многоразовой сумки вместо одноразовых пластиковых пакетов способствует уменьшению количества мусора и улучшению экологической ситуации. Востребованность хозяйственных сумок в будущем будет только расти, поскольку доля возрастного населения увеличивается с каждым годом.

В связи с высокой востребованностью складной хозяйственной сумки, производится разработка оптимальной модели на базе имеющегося концепта. В данной работе делается акцент на проработке конструкции и механизма складывания, на устройстве креплений различных частей сумки друг с другом. Также проводится расчет распределения нагрузки с помощью программ компьютерного моделирования, с предварительным созданием трехмерной модели, и с последующими выводами об устойчивости сумки к нагрузкам.

В разрабатываемой концепции сумки (рис. 1), предусмотрена складная рама, позволяющая значительно уменьшить размеры сумки для перемещения в общественном транспорте или перевозки в багажнике легкового автомобиля. Контейнеры для продуктов так же имеют возможность складывания, выдерживая при этом достаточный вес содержимого в развернутом виде, то есть обеспечивают необходимую прочность. Помимо этого, в конструкции сумки имеется сидение, расположенное на нижнем контейнере, оно может быть использовано без наличия контейнера под ним. Сумка, легко управляемая за счет удобной рукоятки, настраиваемой по высоте под рост пользователя, и четырех колес, передние из которых имеют возможность вращения на 360 градусов, что позволяет маневрировать и объезжать препятствия.

Примеры механизмов и креплений, необходимых для создания удобной конструкции сумки, можно найти среди существующих запатентованных разработок. Например, анало-

гичный механизм складывания рамы описан в патенте на складную детскую коляску, схожие элементы отмечены красным цветом на рис. 2.



Рис. 1. Концепт хозяйственной сумки

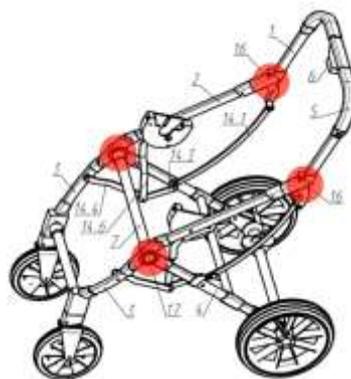


Рис. 2. Складная детская коляска

В другом патенте на ходовую часть детской коляски можно найти необходимое устройство креплений колес к раме складной сумки (рис. 3). В дополнение устройства колес и улучшения безопасности использования складной сумки необходим ножной стопор, останавливающий вращение колеса и фиксирующий сумку неподвижно.

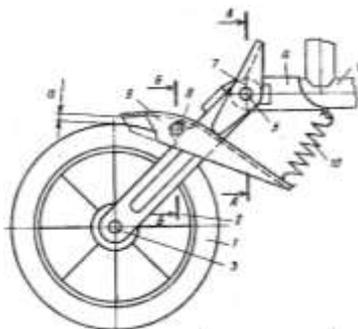


Рис. 3. Ходовая часть

Список источников

1. Патент № 2764334 С1 Российская Федерация, МПК В62В 7/06, В62В 7/14. Складная реверсивная детская коляска: № 2021127980: заявл. 23.09.2021: опубл. 17.01.2022 / К.П. Мамаев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «СОЦ-Информ». – EDN WOYBKK.
2. Авторское свидетельство № 1416360 А1 СССР, МПК В62В 7/06. Ходовая часть детской коляски: № 4037950: заявл. 17.03.1986: опубл. 15.08.1988 / Э.Л. Голубева, А.Т. Звекон, А.Г. Лысяков; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-3590. – EDN BPZHSS.
3. Патент на полезную модель № 45356 U1 Российская Федерация, МПК В62В 9/00. Крепление колеса детской складной прогулочной коляски: № 2004135240/22: заявл. 01.12.2004: опубл. 10.05.2005 / М. Хане Сантамария. – EDN SKEPBY.
4. Schmucker M., Küpper A., Mahler C., & Elsbernd A. (2024). The usability of rollators as part of the human-centred quality of mobility devices: a systematic narrative literature review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
5. Eric Johnson, Jason Munter, Sean Portune. Final Design Report. Personal Utility Cart. California Polytechnic State University, San Luis Obispo 02.06.2017.
6. Yilun Zhang, «The Jolly Trolley» – Enhancing the shopping experience for seniors, San Francisco, California 01.05.2016.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ГАЙДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ

Ершова А.А., НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8ИМ42

e-mail: aae@tpu.ru

Научный руководитель Кухта М. С., профессор ОАР ИШИТР

e-mail: kuhta@tpu.ru

Ключевые слова: интерактивный гайд, профессиональная переподготовка, дополнительное образование, информационные технологии.

Введение

В современных условиях рынка труда стремительное развитие технологий требует от специалиста постоянного обучения и расширения набора профессиональных компетенций, позволяя поддерживать собственную конкурентоспособность и обеспечивать стабильное экономическое развитие страны [1]. Постоянная необходимость в подготовке новых кадров, обусловлена в том числе и массовой цифровой трансформацией современных промышленных предприятий. Оптимизация процесса подготовки специалистов, за счет внедрения цифровых образовательных инструментов в программы переподготовки, является актуальным направлением развития современного профессионального образования.

Целью данного исследования является выявление потенциальной значимости создания и внедрения интерактивных гайдов, позволяющих повысить эффективность образовательного процесса, в рамках программ профессиональной переподготовки специалистов, за счет структуризации учебных материалов.

В ходе исследования был проведен анализ наиболее эффективных методов и технологий обучения, применяемых в настоящее время, выявлены потенциальные преимущества применения интерактивных гайдов.

Основная часть

Успешность применения методики профессиональной переподготовки зависит от соблюдения нескольких ключевых принципов: взаимосвязи теоретических и практических знаний, поддержания высокого уровня мотивации обучающихся, наглядности, доступности и грамотной структуризации учебных материалов [2]. При этом интерактивные методы обучения занимают лидирующие позиции по эффективности усвоения информации. Активное вовлечение обучающегося в образовательный процесс достигается разными способами, как за счет применения теоретических знаний при выполнении творческих заданий и решении прикладных задач, так и за счет выстраивания индивидуальной образовательной траектории.

В настоящее время для оптимизации процесса обучения уже широко используются различные информационные технологии, например, веб-конференции, веб-форумы и веб-сайты, обучающие программы [3]. Главным преимуществом их применения является доступность учебной информации в любое время, за счет чего обучающийся может сохранять свою мобильность в условиях непрекращающейся трудовой деятельности. Однако, на практике одновременно могут использоваться сразу несколько технологий и множество подобных друг другу ресурсов, что может вызывать отторжение от процесса обучения.

Создание интерактивных гайдов представляет собой попытку объединения интерактивных методов обучения и информационных технологий в единый самодостаточный образовательный инструмент. Гайды могут предоставлять пользователям доступ к различным форматам учебных материалов, структурированных по любым заданным характеристикам, содержать тестирования, практические задания и упражнения. Данный инструмент способен значительно сократить время на поиск и изучение нужной информации, что делает его более привлекательным для обучающихся [4].

Интерактивные гайды могут способствовать увеличению мотивации и вовлеченности студентов в обучающий процесс, за счет возможности отслеживания собственного прогресса. Индивидуализация учебного процесса за счет свободного выбора скорости изучения и сложности материала увеличит мобильность студентов, давая им возможность проходить программу параллельно с основным видом деятельности. Гайды могут использоваться как в качестве дополнительного информационного источника, так и в качестве основного инструмента дистанционного обучения, позволяя проходить программу переподготовки в любой удаленной точке.

Заключение

Таким образом, применение интерактивных гайдов в процессе обучения по программам профессиональной переподготовки позволит увеличить доступность учебных материалов, за счет структуризации и оптимизации процесса поиска нужной информации, создаст благоприятные условия для совмещения прохождения программы переподготовки с основной трудовой или академической деятельностью, повысит мотивацию и вовлеченность обучающихся в образовательный процесс.

Список литературы

1. Юрицин А.Е. Дистанционное обучение как инновационная форма профессиональной переподготовки. – Вестник университета «Кластер». – 2022. – № 2. – С. 108–120.
2. Ильина Р.Р. Интерактивные методы обучения слушателей курсов профессиональной переподготовки. – Наука, образование: предпринимательская деятельность в поведенческой экономике, формы реализации и механизмы обеспечения. – 2021. – С. 89–93.
3. Сиволапова Е.А., Кононова Н.Н. К вопросу использования в организации профессиональной переподготовки кадров информационных технологий обучения. – Наука, образование и инновации в современном мире. – 2019. – С. 171–176.
4. Байгулова Т.А., Бирюкова Н.С., Зыкова Я.Д., Шенцова П.А. Анализ и применение обучающих видео и гайдов в самостоятельной работе студентов. – Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти. Приоритетные ориентиры высшего образования в России: стратегическое партнёрство и технологический суверенитет. – 2024. – С. 63–69.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ФОТОГРАММЕТРИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ануфриев М.Д.¹

Научный руководитель доцент Симанкин Ф.А.²

¹НИ ТПУ, ИШПР, 2E11

e-mail: mda7@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,

e-mail: simankinfa@tpu.ru@tpu.ru

Ключевые слова: фотограмметрия, моделирование, текстура, съёмка, экспозиция, аддитивные технологии.

Аннотация. Задача данной работы состояла в построении полигональной модели детали завихрителя дозировочного насоса с помощью технологии фотограмметрии для её последующей печати на 3D-принтере.

Введение. В нефтегазовой промышленности и, в целом, в машиностроении нередко случается нехватка деталей, встроенных в технологические цепочки. В настоящее время все этапы проектирования изделий проходят через САПР. Однако процесс моделирования таких изделий может занимать длительное время особенно если мы имеем дело со сложной геометрической формой, такой как у крыльчаток, тогда как есть срочная необходимость в запасных деталях для замены. Упростить этот процесс способна фотограмметрическая обработка снимков образца детали. Полученный файл модели, построенной с помощью фотографий, конвертируется в различные форматы, считываемые САД и САЕ системами, в которых получившуюся модель можно импортировать и доработать, а для оценки качества и точности модели её можно распечатать на 3D-принтере.

Обзор. В настоящее время фотограмметрия находит применение во многих сферах человеческой деятельности. Спектр приложения этой науки весьма широк: картографирование земной поверхности, геодезия, космические исследования, география, архитектура, градостроительство, экология, кадастр, медицина, криминалистика, военно-инженерное дело, артиллерия и т. д. [1]

Для получения модели высокого качества помимо камеры с объективом, имеющим достаточно большое фокусное расстояние (около 50 мм.) необходимо продельвать тщательную подготовку места съёмки, которое должно быть хорошо освещено нейтральным светом и при этом иметь минималистичное окружение, контрастирующее с оттенками рассматриваемого объекта съёмки. Калибровка камеры производится непосредственно в программе для обработки фотографий.

В качестве предмета моделирования была выбрана деталь завихрителя дозировочного насоса (рис. 1, а, б).



а

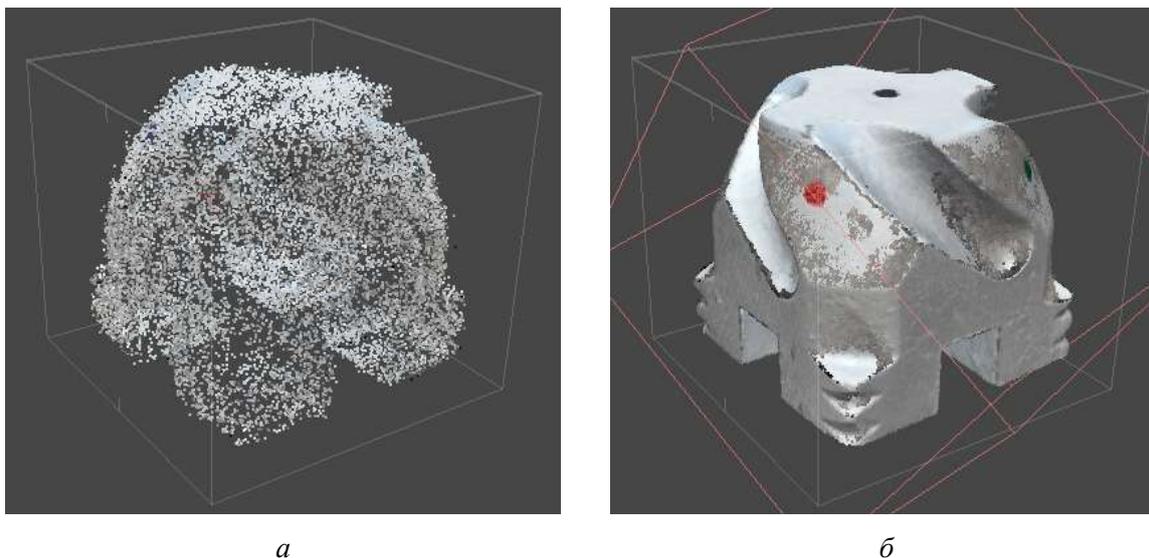


б

Рис. 7. Деталь с двух сторон:
а – Лицевая сторона детали б – Задняя сторона детали

Подробно факторы и параметры, влияющие на точность в фотограмметрии описаны в учебном пособии Краснопевцева Б.В. [3], но в качестве главных всегда приводят количество фотоснимков и уровень их разрешения. Для построения модели данной детали было использовано 568 снимков.

В результате выравнивания снимков программа построила связующие точки (узлы) для дальнейшего построения более плотного облака точек. (рис. 2, а, б). Заключительной этапом работы стало создание полигональной модели на основе полученного облака точек. После удаления лишних точек, не имеющих отношения к объекту, процесс построения полигонов (элементов) занял около двух часов (длительность обработки зависит от количества и качества фотографий, а также от выстроенных параметров построения [4]).



*Рис. 8. Образованные облака точек:
а – Облако точек детали б – Плотное облако точек детали*

В результате полной обработки фотографий была получена модель (рис. 3).

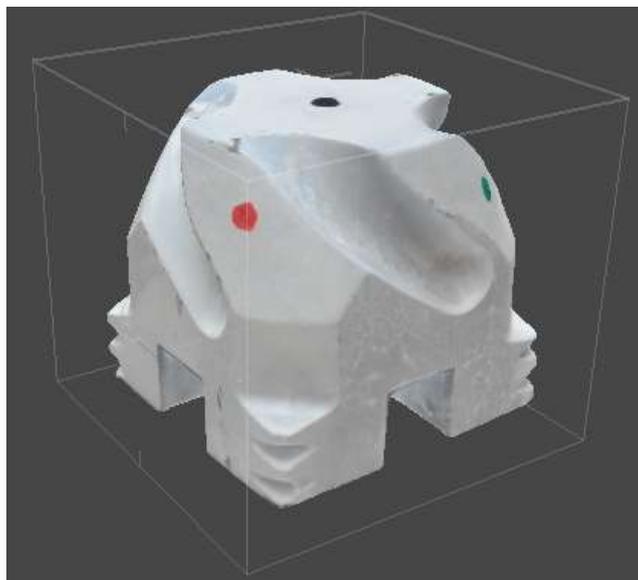


Рис. 9. Полигональная модель детали

Данная модель была импортирована программное обеспечение для 3D-печати Ultimaker Cura для последующей распечатки на 3D-принтере. Результат проделанной работы представлен на рис. 4, 5.

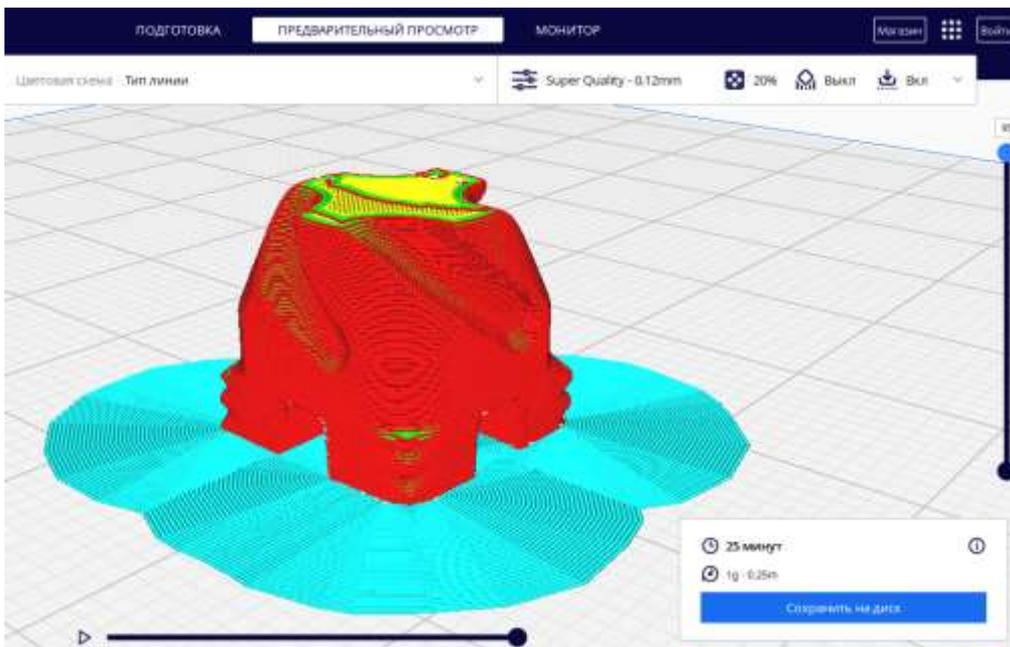


Рис. 10. Предварительный просмотр печати



Рис. 11. Распечатанная деталь

Для печати данного образца потребовалось около 25 минут. Максимальное поперечное сечение образца 15 мм.

Преимущества и недостатки моделирования методом фотограмметрии указаны в табл. 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки метода фотограмметрической обработки снимков

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Небольшие времязатраты на производство модели; • Простота освоения технологии; • Не очень большие денежные затраты по сравнению с лазерным сканированием 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость в точном фотооборудовании; • Необходимость в тщательной подготовке места фотосканирования; • Низкая точность по сравнению с аналогами из CAD систем

Вывод

Рассмотрено практическое применения метода фотограмметрической обработки снимков в нефтегазовой отрасли на примере детали завихрителя дозировочного насоса. Результат проделанной работы показывает, что данный метод имеет большой потенциал для быстрого изготовления деталей аддитивными технологиями в короткие сроки. В качестве развития идей, изложенных в данной статье, дальнейшая работа будет направлена на повышение точности сканирования и поиске оптимального ПО, а также методов для постобработки полученных моделей, что упростит процесс реверс-инжиниринга для конструкторов.

Список литературы

1. Ефременков Е.А. Фотограмметрия. Построение и уравнивание аналитической фототриангуляции: учебно-методическое пособие для студентов физического факультета КГУ, обучающихся по специальности «Астрономогеодезия». КГУ, Казань, 2009. – 86 с.
2. Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие / В.И. Гужов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с.
3. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – 160 с.
4. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНВЕЙЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Кривошеев Д.Ю.¹, Кухта М.С.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОМШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: dyk17@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор

e-mail: kuhta@tpu.ru

Конвейер – один из самых прогрессивных видов транспорта, который обеспечивает высокую производительность и экономическую эффективность при больших объемах грузов. В современном массовом и крупносерийном производстве конвейеры являются важной частью технологического процесса: они контролируют скорость производства, поддерживают его ритмичность, повышают производительность труда и увеличивают выпуск продукции, а также решают задачи комплексной механизации и автоматизации транспортно-технологических процессов.

Одна из ключевых тенденций в развитии конвейеров в России и за рубежом – это значительное повышение их производительности, длины и мощности, что обусловлено ростом грузопотока и дальности транспортировки. Однако используемые в агропромышленном комплексе и других отраслях промышленности элеваторы, скребковые и винтовые конвейеры не соответствуют всем требованиям современного автоматизированного производства. Разработка высокоэффективных конструкций конвейеров для крутонаклонного и вертикального перемещения сыпучих и штучных грузов представляет собой важную проблему, имеющую огромное значение для экономики страны. Вариантом решения данной проблемы является крутонаклонный конвейер: z-образный, с-образный и другие.

Существуют конвейеры с ленточным, цепным и канатным тяговыми элементами, а также конвейеры без тягового органа (гравитационные, инерционные и винтовые). Конвейеры с тяговым элементом бывают ленточными, пластинчатыми, люлечными, скребковыми и ковшовыми, в зависимости от типа грузонесущего элемента.

Ленточные конвейеры типовых конструкций, предназначенные для транспортировки грузов, изготавливаются с углами наклона 16–20°. Обычно они имеют значительную протяжённость и занимают много полезной площади, что создаёт неудобства в производственных условиях и делает их использование экономически нецелесообразным. В связи с этим разработка крутонаклонных конвейеров представляется перспективным и крайне актуальным направлением.

Использование крутонаклонных конвейеров позволяет:

1. Снизить удельные затраты на доставку грузов на 50 % по сравнению с традиционными конвейерами.
2. Сократить расходы на покупку конвейера на 40 %, благодаря уменьшению энергопотребления и материалоемкости, а также уменьшению размеров оборудования.
3. Занимать на 25–50 % меньше места, чем стандартные конвейеры.

Особенность крутонаклонных конвейеров заключается в том, что они требуют меньшей площади установки и могут работать при угле наклона до 90 градусов. Именно такие конвейеры лучше всего использовать для транспортирования грузов по кратчайшим расстояниям, когда есть необходимость в подъеме грузов на относительно большую высоту.

Одной из таких разработок в области конструирования крутонаклонных конвейеров является подборщик просыпи (см. рис. 1 и рис. 2). Подборщик просыпи – это конвейер-транспортёр, который используется на ленточных конвейерах для сбора и удаления просыпей (материала, который просыпался с конвейера).

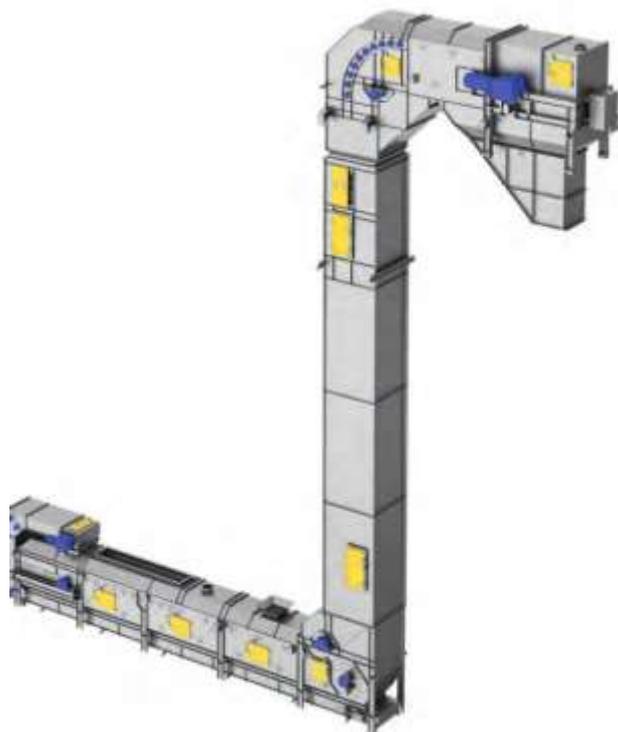


Рис. 1. Компоновка ленточного конвейера с подборщиком просыпи (DURMEIER)



Рис. 2. Подборщик просыпи: конвейер цепной скребковый (MAGALDI)

Цепные транспортеры представляют собой систему, оснащенную цепью, которая перемещает специальные пластины или скребки для транспортировки материала. Одной из разновидностей цепных транспортеров является цепной скребковый конвейер. В данной конструкции на цепи установлены скребки, предназначенные для транспортировки материала. Этот тип конвейера особенно хорошо подходит для работы с абразивными и грубыми материалами, такими как руда или уголь. Благодаря своей надёжной конструкции и особым скребкам, конвейер обеспечивает надёжную и эффективную транспортировку материалов даже в самых сложных условиях эксплуатации.

Основные вопросы дизайн-проектирования конвейеров захватывают снижение материалоемкости производства, улучшение технологичности конструкции/формы, обеспечение высоких эргономических показателей и отражение обусловленности формы функцией изделия.

Форма промышленного изделия должна отражать специфику его функционального назначения. Конструкция подборщика просыпи (рисунок 2) представляет собой оболочку, собранную из листового материала. В конвейере четко прослеживаются открытая область конструкции, куда сыпается материал – нижняя горизонтальная, а также закрытые области – вертикальная и верхняя горизонтальная, которые отражают назначение самой формы как траектории движения цепи и скребков.

Эргономика отражается в удобстве использования самого конвейера. Первый вопрос связан с транспортировкой изделия – для этого были предусмотрены места под рым-болты и специальные такелажные кронштейны. Второй вопрос связан с доступом к днищу конвейера – для этого были предусмотрены стойки такой высоты, чтобы туда могла пролезть рука человека в случае необходимости. Третий вопрос связан с расположением информационных табличек и управляющих элементов (кнопочных постов) – для удобства пользования они должны быть расположены на высоте не более 180 см над уровнем пола.

Снижение материалоемкости производства и улучшение технологичности конструкции захватывает один из важнейших вопросов при работе с листовым материалом – переход от сварки к операции гибки. Процедура обработки листового металла, в результате которой заготовка приобретает заданную форму, носит название гибки металла. Популярность такой обработки обусловлена невысокой энергоемкостью процесса, а также возможностью из плоских деталей получать объемные изделия разнообразной конфигурации. Механическая гибка на современных станках осуществляется в кратчайший срок и с высокой точностью. Передовое листогибочное оборудование дает возможность обрабатывать большие листы металла. Угол изгиба при этом находится в пределах 85–180°.

Востребованность такого вида металлообработки объясняется следующим:

1. **Повышение технологичности:** Гибкой можно пользоваться вместо сварки. Зона шва при этом практически не станет подвергаться коррозии.
2. **Повышение точности:** Точность обработки. На современном оборудовании можно получить деталь даже очень сложной конфигурации с минимальными погрешностями. Это обеспечивается точным положением линиигиба, полученным с помощью САПР.
3. **Повышение эстетичности:** Гнутая деталь выглядит привлекательнее сваренной, так как в ней теперь присутствует гладкий загиб вместо бесформенного сварного шва. Бесшовный метод экономичнее, прочнее и выглядит привлекательнее.
4. **Повышение материалоемкости:** При обработке не остается отходов.

Таким образом, разработка конвейерного оборудования сегодня действует как принципы конструирования, так и дизайн-проектирования, что позволяет добиться синергии в функциональном, конструктивном и эстетических аспектах.

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с, ил.
3. Пертен Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2005. №1 (1). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konveyernyy-transport-xxi-veka>.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЯМОГО ПРИВОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВРАЩАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

Кузнецов Е.Ф.¹, Кухта М.С.²

*¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31
e-mail: efk5@tpu.ru*

*²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор
e-mail: kuhta@tpu.ru*

Электронно-лучевая сварка, обычно осуществляемая в техническом вакууме 10^{-2} – 10^{-4} Па. В электронной пушке формируется электронный пучок с большой плотностью энергии. Сфокусированные в плотный пучок летящие электроны ударяются с большой скоростью о малую, резко ограниченную площадку на изделии, при этом кинетическая энергия электронов, вследствие торможения в веществе, превращается в теплоту, нагревая металл до очень высоких температур. Под электронным лучом образуется расплав, который заполняет стык на всю глубину. Электроны одновременно воздействуют на металл по всей поверхности стыка. Для перемещения луча по свариваемому изделию на пути электронов помещают магнитную отклоняющую систему, позволяющую устанавливать электронный луч точно по линии сварки.

ЭЛС действует аналогично лазерной, только в отличие от светового луча пучок электронов невидим. Энергия его значительно превосходит лазер, площадь воздействия меньше. Все эти факторы минимизируют сварочные деформации и нежелательные структурные превращения, влияющие на механические свойства металла. Движение электронов в вакууме не сопровождается световыми эффектами и поэтому луч не виден, но его действие на вещество можно наблюдать по нагреву места бомбардировки, свечению люминофоров и т. п.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) применяется для уникальной операции соединения изделий из высокопрочных сталей и сплавов на основе алюминия и титана. Поскольку процесс ЭЛС происходит в вакууме, это позволяет сохранять исходную чистоту свариваемого металла и получать сварные швы очень высокого качества. При помощи ЭЛС также можно получать высокое качество сварных соединений химически активных металлов и сплавов: молибдена, титана, ниобия, циркония. Как правило, во многих случаях происходит дегазация металла шва и одновременно повышение его пластических характеристик.

Кроме того, ЭЛС незаменима при соединении низкоуглеродистых, коррозионностойких, медных, никелевых сталей, алюминиевых сплавов. Сегодня на отечественных и зарубежных предприятиях широко применяются электронно-лучевое оборудование с источниками косвенного и прямого накала катодов [3]. В установках с внутрикамерным расположением источников появляется возможность сварки соединений горизонтальным или наклонным лучом по сложным траекториям движения.

Точная механика в сочетании с компьютерными технологиями и системами управления устраняют зависимость качества итоговых соединений от человеческого фактора. Автоматическое сварочное оборудование просто и надежно в эксплуатации, и его обслуживание не подразумевает существенных трудовых затрат. Запрограммировав установку, необходимо лишь контролировать наведение электронного луча в нужное место и его прохождение вдоль сварного шва.

Широкая номенклатура свариваемых электронным пучком узлов и деталей, разница их массогабаритных параметров и технических требований к качеству сварки не позволяют реализовать единые подходы и универсальные технические решения как для электронно-лучевой установки в целом, так и для ее составляющих. Поэтому в составе установок электронно-лучевой сварки широко используются много-осевые прецизионные манипуляторы и вращательные системы для точного перемещения свариваемых узлов и деталей в пространстве вакуумной камеры.



Рис. 1. Осевой манипулятор

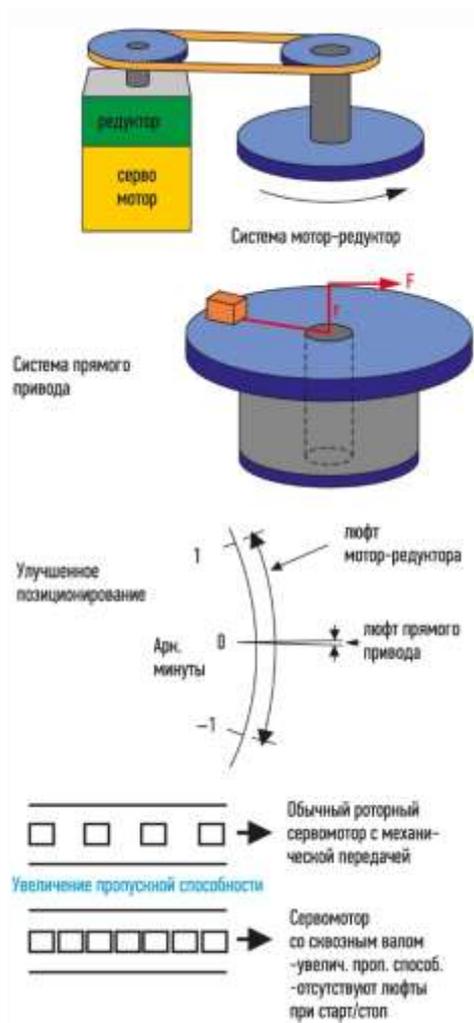


Рис. 2. Технологии передачи движения

Манипулятор позволяет подвести изделие под электронный луч (наведение луча на стык свариваемых изделий) и перемещать изделие под лучом с заданной скоростью и по заданной траектории. Для вращательного движения используют асинхронные и синхронные электродвигатели, а для линейного в основном применяют механическую передачу в виде шарико-винтовой пары с кареткой, перемещающейся по рельсам, линейные актуаторы и линейные серво-двигатели.

Одним из важных требований к современным сервоприводам является высокая точность позиционирования, которую сложно обеспечить из-за особенностей передаточных механизмов. Избавиться от таких погрешностей позволяет использование прямого привода. В соответствии с этой концепцией электродвигатель и приводимый им в движении механизм являются единым целым. Само понятие «прямой привод» означает, что механизм непосредственно подключен к приводящему его в движение электродвигателю, то есть не имеет передаточных элементов. Это относится как к вращательному, так и к линейному передвижению.

Использование прямого привода позволяет улучшить массогабаритные характеристики и удешевить устройство, а в отдельных случаях уменьшить потери энергии.

Достоинства электрических машин с прямым приводом:

1. Отсутствие ремня привода редуктора или любого другого механизма передачи механической энергии, что уменьшает вероятность выхода установки в целом из строя.
2. Меньшая вибрация во время работы. Это обеспечивается отсутствием у машины передающего звена и центральным расположением двигателя, что благотворно сказывается на общей центровке и балансировке всего механизма.
3. Низкий уровень шума во время работы.
4. Меньшее электропотребление за счет уменьшения механических потерь на трение.
5. Более длительный срок эксплуатации.
6. Большее быстродействие по управлению исполнительным механизмом и рабочей машиной.

Компоненты механической передачи накладывают ограничения на то, как быстро можно произвести запуск и остановку исполнительного механизма. Из-за этих факторов понижается возможная пропускная способность машины с традиционным приводом, что напрямую влияет на ее производительность. Машины с прямым приводом быстрее изменяют скорость вращения, могут резко останавливаться и менять направление вращения, что значительно сказывается на качестве технологического процесса, обеспечиваемого этими машинами.

Кроме того, традиционные передаточные механизмы имеют редуктор, ремень/шків или кулачковый механизм. Но любой, даже самый прецизионный редуктор имеет люфт, у ременной передачи и кулачковых механизмов тоже есть погрешности, не говоря о том, что они увеличивают размеры привода, что в некоторых случаях их применения особенно критично. В связи с этим технология прямого привода является весьма перспективной. Она находит все большее применение также в станкостроении. Необходимость создания высокомоментных электродвигателей привела разработчиков к созданию совмещенной конструкции синхронных двигателей с постоянными магнитами на роторе.

Технология, лежащая в основе высокомоментных двигателей прямого привода, позволяет упростить конструкцию станка и повысить точность перемещения. При этом исключается люфт в редукторе или приводном ремне.

Сегодня на российском рынке представлено множество брендов, которые предлагают свои решения в области высокомоментных прямого привода. Реализуемая технология прямого привода в технологических установках с электромеханическими преобразователями энергии позволяет минимизировать массогабаритные показатели, улучшить энергетические характеристики за счет уменьшения механических потерь в устройствах сопряжения электродвигателя с технологическим оборудованием, повысить точность перемещения.

Список литературы

1. Сидоренко А.А., Пустовых И.В., Перспективы развития электронно-лучевой сварки в России // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы. – Кемерово: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2023. – С. 287–288.
2. Четырех-координатный манипулятор для установки электронно-лучевой сварки К.В. Бескончин, Д.Б. Золотухин, А.А. Зенин, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков, ТУСУР 2017, Т. 20.
3. Лукин М.А. Научно-технический уровень сварочного производства в современной России // Вестник Псков. гос. ун-та. – 2014. – № 4. – С. 134–142.
4. Технология прямого привода: меньше деталей, больше точности // URL: <https://controleng.ru/apparatnye-sredstva/ispolnitel-ny-e-ustrojstva-i-privody/kollmorgen/>
5. Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Голованов А.А., Феофанова А.С., Технология прямого привода применительно к установкам центрифугального сепарирования // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. Выпуск 1 (256) 2020.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЗЕЛЕННОГО ДИЗАЙНА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ли Дэсян¹, Цзинь Чжи²

*¹Международный инженерный институт Шэньянского политехнического университета
и Томского политехнического университета, гр.22180101,*

e-mail: azhi0226@mail.ru

*²Шэньянский политехнический университет, Международный инженерный институт,
заведующий кафедрой,*

e-mail: azhi0226@163.com

Аннотация: В этой статье описывается концепция зеленого дизайна, которая направлена на уменьшение негативного воздействия продукции на окружающую среду для достижения устойчивого развития и имеет большое значение для машиностроительной промышленности. В статье представлены концептуальные принципы, проанализированы примеры применения и случаи использования в машиностроении, рассмотрены тенденции развития и подчеркнута ключевая роль концепции в устойчивом развитии.

Ключевые слова: зеленый дизайн; устойчивое развитие; выбор материалов

1. Введение

Машиностроение является одной из важных отраслей человеческого общества, но проблемы высокого энергопотребления и высокого загрязнения, возникающие в процессе производства, серьезно угрожают стабильности и устойчивому развитию экологической среды [1]. В условиях растущего спроса на охрану окружающей среды и усиления рыночной конкуренции традиционная модель трудно удовлетворить спрос, и концепция зеленого дизайна стала ключом к трансформации и модернизации. Он фокусируется на управлении полным жизненным циклом продукции, учитывает факторы охраны окружающей среды, может реализовать единство охраны окружающей среды, экономики и социальных выгод и способствовать устойчивому развитию машиностроения.

2. Принципы зеленого дизайна

зеленый дизайн-это метод проектирования, направленный на устойчивое развитие, основная идея которого заключается в достижении беспроигрышной ситуации для экологических и экономических выгод путем уменьшения негативного воздействия продукта на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла [2].

2.1. Циклическое мышление

Выбор сырья учитывает множество факторов, отдавая предпочтение экологически чистым и возобновляемым. Производственные процессы оптимизируют энергопотребление, контролируют выбросы, утилизируют опасные отходы. Дизайн упаковки ориентирован на защиту окружающей среды, повторное использование и переработку. При проектировании учитывается утилизация отходов.

2.2. Выбор материала

Выбор экологичных материалов, таких как перерабатываемые, пригодные для повторного использования, нетоксичные, неопасные и с низким энергопотреблением, чтобы снизить нагрузку на окружающую среду и потребление ресурсов, а также уменьшить количество материалов, используемых в дизайне.

2.3. Энергетическая эффективность

Применение энергоэффективного оборудования и технологий на этапе производства, а также оптимизация технологических параметров и конструкции оборудования в энергоемких областях для снижения потребления. На этапе использования разрабатываются энергосберегающие продукты и улучшается их применение.

2.4. Сокращение выбросов отходов

Применение многоразовых упаковочных материалов. При разработке продукции следует учитывать вопросы утилизации и переработки отходов, а также использовать легко-съемные конструкции для вторичной переработки. Применение идеи «безотходности», использование возобновляемых материалов, уменьшение количества упаковки, разработка компонентов, пригодных для вторичной переработки, и производство по системе замкнутого цикла для переработки отходов.

3. Примеры применения концепции зеленого дизайна в машиностроении

3.1. Компания «Джебил»

Исследования и производство Компании «Джебил» сосредоточены на следующих аспектах: устойчивое развитие и защита окружающей среды, выбор экологически чистых материалов и компонентов, использование перерабатываемых и других специализированных материалов и сокращение их применения, использование высокоэффективных производственных процессов и энергетического оборудования, акцент на сокращении выбросов, утилизации и переработке отходов.

3.2. Компания «Дженерал Электрик»

Компания внедряет концепции зеленого дизайна и инновации во многих областях своей деятельности. Например, использование экологически чистых смазочных материалов и энергосберегающих технологий в воздушных компрессорах, применение перерабатываемых материалов в оборудовании для медицинской визуализации, а также съемные и легко очищаемые компоненты повышают экологичность и устойчивость продукции и служат примером для всей отрасли.

4. Тенденции развития зеленого дизайна в машиностроении

4.1. Экономия ресурсов: предприятие сосредоточено на использовании эффективных методов и оборудования для сокращения потребления энергии и материалов.

4.2. Устойчивое развитие: использование возобновляемых ресурсов и перерабатываемых материалов, сокращение отходов и повышение коэффициента повторного использования продуктов.

4.3. Обновление продукции: сосредоточение внимания на инновациях и внедрение более энергосберегающих и экологически чистых продуктов.

4.4. Международное сотрудничество: укрепление международных технических обменов и внедрение передовых технологий и оборудования для защиты окружающей среды с целью повышения уровня охраны окружающей среды.

Вывод

Повышение осведомленности о защите окружающей среды привело к тому, что концепция «зеленого» дизайна в машиностроении стала цениться. В данной статье представлены ее концептуальные принципы, показано ее применение на конкретных примерах, обсуждается тенденция развития и содержится призыв ко всем сторонам принять участие в ее продвижении для создания лучшей экологической среды.

Список литературы

1. Чжан Вэйбо, Ян Цянь. Пути интеграции зеленой концепции в проектирование и производство машин // Дизайн удобений. – 2022. – № 60(5). – С. 38–40.

2. Чэнь Шу. Исследование применения зеленой концепции в механическом проектировании и производстве // Двигатели внутреннего сгорания и аксессуары. – 2021. – № (18). – С. 194–195.

РАЗВИВАЮЩИЕ ИГРУШКИ

*Матусев А.С., студент гр. 5032
Соколов А.П., к.т.н., доц.
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: asm114@tpu.ru*

В данной работе исследовано влияние игрушек на развитие подрастающего поколения. Выявлено, что на развитие будущих инженеров повлияли игрушки – конструкторы. Проведён ретроспективный анализ игрушек-конструкторов.

Формирование личности начинается в раннем детстве и большое влияние на это имеют игрушки, с которыми играют дети. Так ли это на самом деле? Действительно ли дети, играя с определенными игрушками, развивают какие-то конкретные качества в большей степени?

Это выясняли на основе опросов студентов 2 курса ИШЭ ТПУ. В опросе приняли участие 60 человек в возрасте от 18 до 20 лет.

Отвечая на вопрос «Что вам больше всего нравилось в конкретной игрушке?», респонденты отмечали, в основном: качество исполнения игрушки, способность игрушки развить пространственное мышление и предоставить ребенку свободу воображения, подарить положительные эмоции. Также ценилась и способность игрушки вызывать определенные трудности – ведь их интересно преодолевать.

В результате анализа ответов на вопросы, получили результат – студенты, обучающиеся на технической специальности, в большинстве своем, играли в конструкторы.

Таблица 1

Ответы на вопрос «Испытываете ли вы трудности с освоением материала по гуманитарным и техническим дисциплинам?»

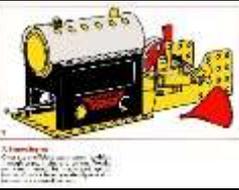
	Нет	Да, незначительные	Да
По гуманитарным дисциплинам	48 %	10 %	42 %
По техническим дисциплинам	68 %	13 %	19 %
По механике	74 %	7 %	19 %

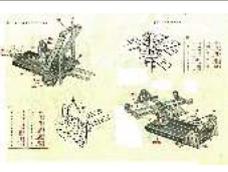
В результате проведенного анализа можно также утверждать, что увлечение техникой (чему способствовала игра с данными игрушками) помогло студентам избежать множества проблем с освоением материала по техническим дисциплинам.

Не утратят ли конструкторы своей развивающей роли? Для ответа на этот вопрос был проведен ретроспективный анализ конструкторов: Мессано, Железного и Lego. Материалы для анализа взяты из открытых источников [1–3]. Результаты анализа для удобства восприятия сведены в табл. 2.

Таблица 2

Исторический путь популярных конструкторов

Конструктор		Первые наборы	1970	2024
Мессано	Фото		1910 г.	
	Комментарий	Видим, что конструкторы становились сложнее. Добавлялись весьма примечательные вещи, например, паровая машина как на фото		Мессано заменили некоторые железные детали на пластиковые, что позволило их проще гнуть и создавать еще больше различных конструкций
	Динамика развития	Мессано пошли по пути усложнения конструкторов, со временем наборы обзавелись некоторыми пластиковыми деталями		

Конструктор		Первые наборы		1970	2024
Железный конструктор	Фото		1933 г.		
	Комментарий	Железный конструктор за это время лишь немного разнообразил ассортимент деталей в наборах		Особых изменений не наблюдается	
	Динамика развития	Наборы железного конструктора почти не менялись и дошли до наших времен почти такими, какими появились в СССР в 1933 году			
Lego	Фото		1961 г.		
	Комментарий	Линейка конструктора Lego начала расширяться, появлялись новые детали		Наборы Lego производятся для всех возрастов: с пеленок – Lego Duplo и до неограниченного возраста – Lego Technic. Также Lego начали производить наборы по играм, фильмам и т. д.	
	Динамика развития	Lego пошли по пути добавления разнообразных деталей в свои наборы			

По результатам ретроспективного анализа сделаны выводы показывающие тенденции совершенствования конструкторов, а также потенциал развивающих игрушек.

Выводы

1. Железный конструктор не претерпевает принципиальных изменений, но расширяется ассортимент деталей конструкторского комплекта.
2. В конструктор Мессано добавляются детали из других материалов (в основном из пластмассы). Это, в основном, декоративные элементы, способные гнуться, иногда, детали сложной формы, что упрощает конструирование, но может сузить возможности технической фантазии ребёнка.
3. Компания Lego начала производить наборы по играм, фильмам и т. д. Тем самым осуществляется поворот фантазии ребёнка в направлении, выходящем за рамки технической фантазии ребёнка.

Список литературы

1. Meccano® in the United States [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usmeccano.com/outfits/10nobwood.htm> (дата обращения: 06.11.2024).
2. Брайтонский музей игрушек и моделей (Brighton Toy and Model Museum) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.brightontoyandmodelmuseum.co.uk/index/Category:1970s_Meccano (дата обращения: 06.11.2024).
3. Официальный сайт Мессано [Электронный ресурс]. – URL: https://meccano.com/en_us/products (дата обращения: 06.11.2024).

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ДИЗАЙНЕ СЦЕНАРИЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Нестеров Т.М.¹, Васильева М.О.²

¹НИ ТПУ, ИШИТР, группа 8Д11,

e-mail: Tmn2@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШИТР, старший преподаватель,

e-mail: vasilevamo@tpu.ru

Аннотация: В статье рассматривается эвристический подход к созданию дизайнерского решения светового сценария. Демонстрируется эскиз конструкции плафона светильника с компоновкой источников света различной цветовой температуры.

Ключевые слова: Эвристический, эмпирический, инженерный, имитационный методы проектирования, эскиз, дизайн светового сценария, искусственное освещение, цветовая температура источников света,

Цель: Создание комфортного светового сценария, посредством комбинации цветовой температуры источников света в конструкции плафона потолочного светильника.

Задачи:

- выявление эмпирического образа светового сценария в основе композиционного замысла;

- выбор характеристик современных светильников для имитации комфортного света;

- создание эскиза конструкции плафона для имитационного решения светодизайна.

На сегодняшний день светодизайн имеет значительный опыт исследований и создания комфортных световых сценариев для помещений различного назначения. Однако, в виду уникальности проектных разработок интерьерного пространства, а также инноваций светотехники, проектирование освещения требует специфических подходов к проектным решениям, в которых наиболее важными являются принципы здоровья, сбережения и комфортности визуально-световой среды [1].

Визуально-эстетическое преобразование внутренних пространств возможно при помощи искусственного освещения. Свет, подобный естественному световому сценарию, способен обеспечить комфортную зрительную, эмоциональную атмосферу и улучшить работоспособность [2].

Для разработки освещения необходимо: во-первых, понимание различных факторов, обеспечивающих комфортное зрительное и эмоциональное восприятие; во-вторых, компоновка светотехнических характеристик ламп и размещение их в пространстве [3–5].

Апперцептивным примером разрабатываемого образа освещения, можно считать светящийся сверху яркий небосвод, а облачность в качестве мягкости рассеивающего светофильтра.

Для создания композиции освещения необходим инженерный подход, имитационные приемы в компоновке технических характеристик современных источников света. Кроме того, необходимо учитывать уникальность архитектоники пространства, стилистику интерьеров и помещений. Для воплощения проекта используются знания и принципы построения световых решений композиций, и творческое озарение [4].

В основе светового сценария может рассматриваться эмпирический метод разработки посредством случайно выбранных наблюдений, это позволяет имитировать комфортное освещение посредством формообразования конструкции плафона светильника и подбора технических характеристик ламп.

При выборе светильников необходимо уделить особое внимание характеристикам цветовой температуры искусственных источников света. Именно это позволит создавать комфорт-

ные светосценарии, способствующие улучшению эмоционального настроения и сохранения работоспособности. Рассматривая вопросы восприятия освещения по различным характеристикам необходимо выбрать обеспечение создания атмосферы светового сценария. Современные методы светодизайна базируются на психофизиологии световосприятия, а также интеграции освещения в рабочем пространстве. Выявление оценки характеристик световой комфортности в обосновании выбора адаптивных ламп способных моделировать естественный свет, позволят корректировать психофизиологическое восприятие необычной видимой световой среды.

Таблица 1

Анализ восприятия освещения по цветовой температуре источников

Пример имитации светового сценария	Эмоциональный отклик восприятия сценария освещения интерьеров	Цв. темп. источника света
<i>Анализ восприятия</i>		
	<p>Имитация теплого света ламп, в котором преобладает жёлтый, красный и оранжевый, подобен утреннему солнцу и рассвет небосклона. Применяют в жилых помещениях и интерьерах. Воспринимается мягко, располагает к отдыху. Такое освещение не подходит для длительной работы, поскольку желто-красный сектор спектра вызывает зрительную утомляемость</p>	<p>2200–3500 К</p>
	<p>Модель освещения, имитирующая нейтральный белый свет, приближённый к дневному свету солнца в зените. Воспринимается стабильно, подходит для выполнения длительной визуальной работы, однако не создает цветовых акцентов и определенного эмоционального отклика. Вызывает ощущение монотонности</p>	<p>3500–4500 К</p>
	<p>Свет лампы, визуально близкий к синему спектру, ассоциируется с вечерним освещением, пасмурной погодой. Такой свет способствует кратковременной концентрации внимания и повышает производительность. Однако при длительном воздействии он может привести к быстрой усталости глаз и вызвать нарушения зрительной функции. При недостаточной освещенности фиксируется ощущение сумеречного холодного освещения; при высокой освещенности – искаженная цветопередача</p>	<p>5000–6500 К</p>

Целостный образ комфортного светового сценария предлагается скомпоновать три различных оттенка света и разместить в одной конструкции плафона. Замысел зародился из случайного наблюдения светового сценария подобного естественному освещению. Рассматривается пример восприятия случайного размещения светильников теплого, нейтрального и холодного спектра ламп, скомпонованных посредством случайного расположения трёх светильников с различными цветовыми характеристиками.

Вывод

Основой для разработки световых композиций и сценариев освещения могут стать эвристический подход и эмпирический опыт. Творческая идея формообразования промышленного изделия происходит из случайного озарения увиденного природного явления или имитации явления с помощью тщательного выбора светотехнических характеристик современных ламп.



*Рис. 1. Модель имитации освещения интерьера:
– потолочный светильник с компоновкой источников света различной цветовой температуры;
– компоновка плафона в пространстве интерьера*

Список литературы

1. Васильева, М.О., Принципы разработки световых сценариев: управление светом в интерьере / М.С. Кухта, М.О. Васильева // Академический Вестник УРАЛНИИПРОЕКТ / РААСН – 2019 № 1 (40). – С. 88–93.
2. Гусев Н.М. Свет в архитектуре ОНТИ 1937: учебное пособие для архитектурных и строительных вузов, 211 с.
3. Пашковский, Р.И. И вновь о нормировании искусственного освещения: нормативные материалы по проектированию искусственного освещения / Р.И. Пашковский, Ю.А. Скорик, Е.А. Лесман // Светотехника. – 2017. – № 5. – С. 73–75.– (Дискуссии). – ISSN 0039-7067.
4. Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаз хорошо, что – плохо. – М.: МЦ Видеоэкология, 1997.
5. Рунге В.Ф. Эргономика и оборудование интерьера: учеб. пособие. – М.: Архитектура-С, 2004.
6. Васильева, М.О. Имитация солнечного света на основе LED технологий в интерьере с купольным потолком / М.О. Васильева // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018): VII Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018)»: сб. н. т. / ТПУ. – Томск, 2019. – С. 113–114.

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ЭСТЕТИКИ И ФУНКЦИИ В ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЬНОГО БИОНИЧЕСКОГО ОРТЕЗА РУКИ

Полех Е.С., аспирант 1 курс, гр. А4-64,

e-mail: esp22@tpu.ru;

Кухта М.С., д.ф.н., профессор,

e-mail: kuhta@tpu.ru;

ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Промышленный дизайн заключается прежде всего в разработке и создании сложных технических устройств, конструкций и деталей машин с последующим приданием им эстетической и выразительной формы. В настоящее время особенно перспективным является использование бионики и компьютерных технологий для моделирования промышленных изделий. Многие полезные идеи и ценные технические решения человек подсмотрел у природы. Дизайнеры и инженеры используют бионический дизайн в качестве способа внедрения природного компонента в экосистему человека и применения «естественных» механизмов, принципов и функций окружающей среды в разрабатываемых технических системах и устройствах.

Бионический дизайн не всегда предполагает прямое копирование природных объектов и создание бионических прототипов, полностью дублирующих функции, формы и структуры живого в природе. Иногда это связано с техническими ограничениями текущего этапа развития технологий и невозможностью изготовить натуральный прототип. Принципы бионики могут служить для дизайнера инструментом для поиска вдохновения среди формообразования бионических структур, основы дальнейшего проектирования новых объектов. Такое применение непосредственно связано с основной задачей бионического дизайна – снижением веса объекта при увеличении прочности объекта. Дополнительное развитие влияния применения бионического подхода в промышленном производстве оказывают исследования в области материалов и технологии: применение компьютерного проектирования с использованием статического и динамического цифрового моделирования, внедрение в производство аддитивных технологий, инновационных материалов, а также оптического сканирования природных объектов.

Человек – это очень сложное существо и руки – это один из сложных организмов. Возможно, мы не воспринимаем их как необходимый инструмент, несмотря на то, что мы используем его каждый день. Это инструмент для социализации и общения с человеком, для взаимодействия с предметами, даже банально для того, чтобы написать статью на конференцию. Кисть человека – тонкий и невероятно сложно организованный инструмент, который требует к себе бережного отношения.

Ярким примером применения бионического дизайна в производстве промышленных изделий можно считать современные бионические устройства реабилитации: протезы и ортезы конечностей человека. Протез – устройство, которое *замещает функции* утраченной конечности или органа пользователя. Ортез является вспомогательным устройством, служащим в качестве ортопедического приспособления для *коррекции и восстановления функции* опорно-двигательного аппарата или даже для повышения человеческих возможностей. Цель ортопедического аппарата – помочь человеку в ходе реабилитационного лечения, а также в увеличении функциональных возможностей конечностей. Основным отличием биомеханических ортезов является роботизация устройства. Изделие обычно содержит внешний источник энергии, микропроцессорное управление и приводную систему.

Реабилитация – одна из наиболее динамично развивающихся сфер применения экзоскелетов, предназначенных для помощи парализованным пациентам. Применение бионических ортезов актуально при нарушении двигательных функций легкой и средней степени тяжести. Пользова-

тель изделия должен иметь остаточную подвижность конечности, иметь мышечные ресурсы для осуществления движения. Аппарат помогает в этом движении за счет приводной системы и принципов биомеханики движения. Бионические ортезы применяются при постинсультном состоянии человека, реабилитации после травм, использовании при детском церебральном параличе, при вялых и спастических параличах. Если диагноз человека подразумевает восстановление, то при использовании ортопедического аппарата человеку проще совершать бытовые действия, осуществлять ортопедическую коррекцию и предотвращение вторичной деформации конечности, что является важным вопросом реабилитации.

Цель данного исследования: провести первичный анализ влияния дизайна и используемых материалов на изготовление конкретного промышленного изделия – бионический ортез руки.

Разработка конечного продукта конструкции бионического ортеза включает в себя 5 основных составляющих:

- Механика, которая отвечает за работоспособность и за качество движений пальцев;
- Микроэлектроника, которая отвечает за обработку сигналов и анализ данных;
- Программное обеспечение, которое отвечает за алгоритмы управления;
- Дизайн, отвечающий за внешний вид устройства;
- Материалы, из которых состоит продукция, которая влияет на качество изделия.

Существующие бионические протезы являются не только функциональными, но и эстетичными – их форма приближена к очертаниям настоящих конечностей. Важно понимать, что бионический, вовсе не означает «обтянутый нанок кожей» функциональный протез.

Разработка сложных технических продуктов, особенно в области медицины и протезирования влечет за собой большое количество сложностей, начиная от изучения принципов биомеханики движения конечности, заканчивая материалами и технологиями. Невозможно применение любого вида пластика для того, чтобы человек использовал его на ежедневной основе.

Помимо технических ограничений существует другая неосознанная сторона проектирования – этическая. Хороший или плохой дизайн получился у изготовленного изделия определяет не заказчик, не производитель, а именно пользователь, для которого тот иной продукт сделан. В процессе проектирования любого продукта необходимо понимать, кто наш пользователь, какое у него заболевание, какие проблемы, боли, мечты и желания. Причем все эти вопросы не всегда существует возможность задать конкретно, и не всегда пользователь сам знает о том, что ему на самом деле необходимо.

Первая идея, приходящая большинству дизайнеров в голову, при разработке собственного протеза – создать «настоящую» руку, которая полностью мимикрирует под человеческую кисть, которую пользователь утратил в процессе какой-то травмы или врожденных недугов. Но в наше время сделать полностью похожую кисть на человеческую технически невозможно. Все существующие копии несовершенны по сравнению с оригиналом. Даже небольшое отклонение от биологического идеала уже дает сильное отторжение и эстетическое неприятие этой кисти. Данный принцип часто называют «Парадоксом робота»: когда робот не может быть похож на человека, и начинает выглядеть устрашающее и отталкивающее.

В результате анализа научных исследований, большинство пользователей уверены, что протезы и другое реабилитационное оборудование конечностей не должны выглядеть как кисть человека. Это должно быть устройство, которое помогает в ежедневной жизнедеятельности и помогает решать конкретные проблемы. Продукт не должен пытаться стать заменой руки. Он должен встроиться в мир, в экосистему человека, в каждодневные задачи и в моральное самоощущение пользователей. Реабилитационный продукт должен изменять отношение общества от жалости к пользователям, как к больным, к абсолютно таким же людям, как и все остальные. Для общения с пользователями продукта, необходимо преодолеть некий порог социальной стигматизации и самого подхода к таким людям.

При любом дизайне бионических ортезов невозможно полностью исключить внимание окружающих. В таком случае, это внимание необходимо вызывать исключительно в положи-

тельном направлении, искусственно стимулируя на это окружающих людей. Важно, чтобы при ношении реабилитационного устройства, первый вопрос, возникающий у других людей, был не из-за интереса, что и как случилось с конечностью пользователя и какова причина его травмы. Современный дизайн ортеза должен вызывать визуальное удовлетворение, восхищение, интерес к принципам работы данного устройства, какие у него возможности, из чего он изготовлен, сколько стоит и где его взять. Тогда вопросы о причине инвалидности уходят на задний план, а пользователь становится более уверенным в себе, способным вести банальные жизненные задачи и ежедневную жизнедеятельность.

Дизайн реабилитационного оборудования играет большую роль в полном цикле производства изделия. Сегодня производство не ограничивает себя в визуальном копировании природной конечности – пользователь может ассоциироваться с героем комиксов или человеком из будущего, а отрез выглядеть как футуристичная кибернетическая рука, а может быть раскрашен уникальными цветными принтами. Разрабатываемый ортез должен иметь возможность кастомизации – создания индивидуальной конструкции и внешнего дизайна устройства с помощью систем автоматизированного проектирования и цифрового сканирования конечностей.

Возвращаясь к вопросу: «Что же важнее: эстетика или функция?», важно учитывать оба этих требования: создавать привлекательный для пользователя и окружающих его людей дизайн и, одновременно, качественный продукт, который будет реально решать проблему пользователей и делать их жизнь лучше.

Для создания конкретных дизайнерских решений при конструировании разрабатываемого ортеза необходимо решить следующие задачи:

- Изучить целевую аудиторию и её потребности, предпочтения и вкусы;
- Изучить конкурентов и их предложения на рынке;
- Разработать концепцию дизайна, учитывая индивидуальность и желания будущего пользователя;
- Создать эскизы и 3D-визуализацию продукта;
- Оценить эргономику и удобство использования изделия;
- Согласовать дизайн с пользователем и внести необходимые корректировки.

Список литературы

1. Стрижак, А.В. Методы бионического моделирования как средство интенсификации в промышленном дизайне / А.В. Стрижак, Н.Ю. Казакова // *Фундаментальные и прикладные науки сегодня: материалы XXII международной научно-практической конференции*, North Charleston, 20–21 апреля 2020 года. – Morrisville: LuluPress, Inc., 2020. – С. 15–21.

2. Тульчинская, Е.Р. Концепция бионического формообразования в дизайне реабилитационной техники / Е.Р. Тульчинская, А.А. Дубова // *Концепции в современном дизайне: Сборник материалов I Всероссийской научной конференции с международным участием*, Москва, 20 ноября 2019 года. Том Выпуск 1. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2019. – С. 53–55.

3. Кулешов, В.В. Бионика и бионическое формообразование в дизайне в контексте проблем взаимоотношения материала, технологии и формы / В.В. Кулешов // *Материал-технология-форма как универсальная триада в дизайне, архитектуре, изобразительном и декоративном искусстве : Материалы международной научной конференции*, Москва, 18 мая 2018 года. – Москва: Московская государственная художественно-промышленная академия им. С.Г. Строганова, 2018. – С. 436–441.

4. Стрижак, А.В. Методы бионического моделирования как средство интенсификации в промышленном дизайне / А.В. Стрижак, Н.Ю. Казакова // *Фундаментальные и прикладные науки сегодня: материалы XXII международной научно-практической конференции*, North Charleston, 20–21 апреля 2020 года. – Morrisville: LuluPress, Inc., 2020. – С. 15–21.

ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Рузанова А.Г.¹, Кухта М.С.²

¹ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОмШ ИШНПТ, группа 4НМ31

e-mail: agr10@tpu.ru

²ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», ОАР ИШИТР, д.ф.н., профессор

e-mail: kuhta@tpu.ru

История фрезерования начинается с записок Леонардо да Винчи. Гениальный изобретатель в своих заметках нарисовал фрезу как вращающийся напильник круглой формы. Как и многие его проекты, этот так и остался в XVI веке.

Множество источников называют автором первого в мире фрезерного станка (рис. 1) американца Эли Уитни. Основной его идеей было обрабатывать детали машинным способом, что позволило бы получать их максимально схожими друг с другом по параметрам. Таким образом детали изделий становятся взаимозаменяемыми.

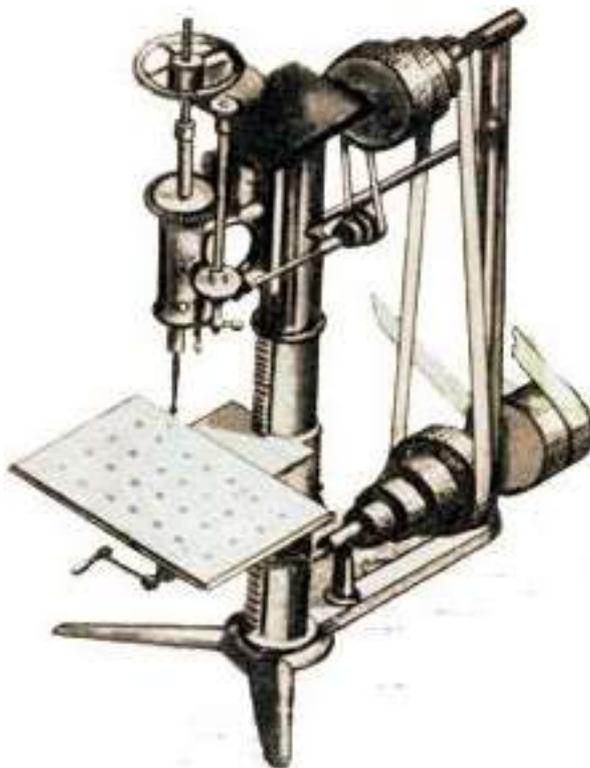


Рис. 1. Фрезерный станок Уитни.

Новый металлорежущий инструмент стал важнейшим открытием, позволившим повысить качество и точность обработки.

На протяжении всего существования фрезерного станка он постоянно улучшался. Менялся материал для фрез, менялась механика самого станка.

С тех пор, эти примитивные механизмы дошли до уровня станков с ЧПУ, которые могут производить операции по заданной программе без непосредственного участия человека. Такие станки являются важной частью современной автоматизации, применение которой необходимо для сохранения рентабельности и получения прибыли предприятиями, так как является важным условием обеспечения качества и скорости производства.

Современные фрезерные станки с ЧПУ работают на высоких скоростях, но с большой точностью, следовательно нужны очень жёсткий корпус и станина (рис. 2).

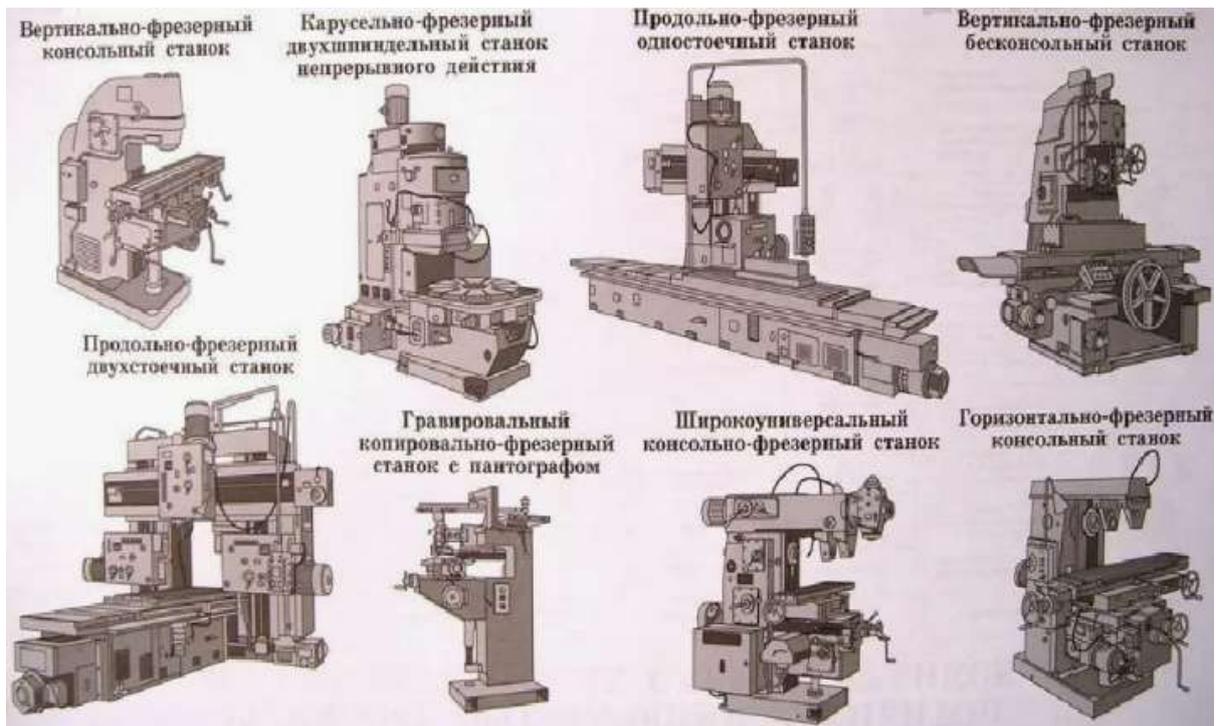


Рис. 2. Фрезерные станки с разными станинами

Станина служит опорой для всех рабочих элементов станка, включая шпиндель, стол и перемещающиеся оси. Именно ее жесткость, прочность и устойчивость к вибрациям напрямую влияют на качество обработки и точность изготавливаемых деталей. Иногда станина может иметь более сложную конфигурацию, которая обеспечивает лучший доступ к обрабатываемой детали и позволяет использовать более крупные заготовки.

В современном производстве дизайн и цветовое решение станины играют значительную роль не только в эстетическом восприятии станка, но и в функциональном (рис. 3). Улучшив видимость некоторых участков станины, повышается безопасность рабочего процесса.



Рис. 3. Цветовое решение станины

Человек воспринимает окружающий мир комплексно, через свои органы чувств – зрение, обоняние, осязание, слух и вкус, и поэтому диссонанс хотя бы одной из характеристик ощущается человеком как нарушение комфорта.

Создавая средства производства, человек стремится сделать их максимально удобными и красивыми, так как стремление к красоте неотделимо от человека.

Техническую эстетику и художественное конструирование обозначают термином дизайн, где можно отметить одно из направлений – стайлинг. Оно использует линии, формы, тона и цвета для внешнего изменения этих изделий с целью вызвать у потребителя положительную эмоциональную реакцию, при этом не затрагивает конструктивную и функциональную основу промышленных изделий (рис. 4).

По мнению Дж. Нельсона, стайлинг направлен на **иллюзию перемен** за неимением возможности создать подлинные перемены.



Рис. 4. Дизайн фрезерного станка

Одной из главных задач при конструировании промышленного оборудования является четкое определение его назначения и формирование комплекса требований к конструированию. Одним из приоритетов является безопасность операторов и обслуживающего персонала. Особое внимание уделяется панелям управления, их высота должна регулироваться таким образом, чтобы пользователю было удобно работать в сидячем или стоячем положении. Также они должны быть четко видны и опознаваемы с тем, чтобы их можно было надежно использовать без промедления, быстро и однозначно. Так, например, стандартное расположение органов управления уменьшает возможность ошибки, когда оператор переходит с одной машины на другую подобного типа, функционирующую по тому же производственному циклу, и такая работа не приведет к дополнительным рискам.

Список литературы

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Ерёмин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. 2-е изд. – М.: Инновационное машиностроение, 2023. – 586 с.: ил.
3. Каминская В.В., Левина З.М., Решетов Д.Н., Станины и корпусные детали металлорежущих станков // Расчет и конструирование – Москва: МАШГИЗ 1960. – С. 26–39, С. 88–94, С. 153–159.
4. История и методология дизайн-проектирования: учебник. В 2 частях. Часть 1. История дизайн-проектирования / М.С. Кухта; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 154 с.

АРХИТЕКТУРНАЯ ПОДСВЕТКА: ВАРИАНТЫ КРЕПЛЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ К ФАСАДАМ

Симанович Е.Е.¹, Кухта М.С.²

¹НИ ТПУ, ИШИТР, группа 8Д11,

e-mail: ees27@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШИТР, д. филос. н., профессор,

e-mail: kuhta@tpu.ru

Одним из наиболее приметных и эффектных аспектов проектирования ночной городской среды является архитектурная подсветка фасадов зданий. Она позволяет привлечь внимание к архитектурным особенностям города, осветить пространство улицы, создать комфортную и эстетичную среду [1]. Такое освещение обычно обеспечивается при помощи систем специализированных светильников-прожекторов различных типов, закрепляемых непосредственно на фасадах или на участке земли рядом с освещаемым зданием.

В зависимости от поставленных целей, освещение фасадов может выглядеть по-разному. Выделяется несколько основных типов:

- Локальная подсветка отдельных частей здания. Осуществляется единичными светильниками, которые обычно размещают в определенном порядке, соответствующем творческому замыслу дизайнера или архитектора.
- Контурное – это выделение силуэта здания. Чтобы создать такой эффект, применяют специальные линейные светильники и трубчатые прожекторы.
- Заливающее – равномерное освещение плоскости фасада. Создается благодаря прожекторам с большим углом светового потока.

Также стоит отметить, что система освещения фасада может позволять менять яркость и цветовую температуру светильников в зависимости от установленных требований. Такая система освещения называется динамической и задействует практически все типы светильников, которые могут управляться человеком извне [2].

Светильники, используемые для светового оформления фасадов, могут быть подвесными (крепиться на тросы); расположенными на опорах (консольного или венчающего типа); настенными; наземными; встроенными (непосредственно в фасады зданий, в малые архитектурные формы и т. д.); встроенными в грунт, газон или мощение; подводными, а также переносными, которые могут устанавливаться и убираться по желанию пользователя [3].



Рис. 1. Виды неподвижных креплений светильников:
а – встраиваемые светильники; б – обыкновенный консольный кронштейн;
в – регулируемый консольный кронштейн

Для монтажа любого светильника в комплекте поставляется и специализированная арматура. В целом, все существующие крепления можно разделить на две группы: неподвижные и подвижные [4]. К первым, изображенным на рис. 1, относят:

- Встраиваемый. Светильник монтируется непосредственно в плоскость с учетом материала поверхности и ее толщины.

- Консольный кронштейн. Применяется для крепления светильника на трубу круглого сечения. Существуют варианты крепления с фиксированным диаметром трубы и с возможностью регулировки этого параметра. В первом варианте в конструкции присутствует труба, в которую вставляется основание. Во втором варианте труба основания зажимается в кронштейне при помощи двух шпилек.

К группе подвижных креплений, которая изображена на рис. 2 относятся:

- Поворотная лира. Как понятно из названия, данная конструкция позволяет изменять угол поворота светильника в одной из плоскостей. Эффект достигается благодаря ряду отверстий в конструкции лиры. Имеет три подвида: классический, предназначенный для крепления на плоских поверхностях; комплект с, как правило, двумя рым-болтами для монтажа на подвесы, которые в последствии можно регулировать по высоте и лира с тросовым подвесом. Последний подвид позволяет изменять угол поворота, а также перемещать светильник по тросу.

- Кронштейны с регулируемым углом наклона. Так же как и лира, имеют несколько отверстий, которые позволяют фиксировать светильник под разными углами. Стандартный диапазон составляет 20–75 градусов.

- Поворотные кронштейны. Дают возможность более плавной регулировки положения светильника за счет использования специализированного узла поворота [5].

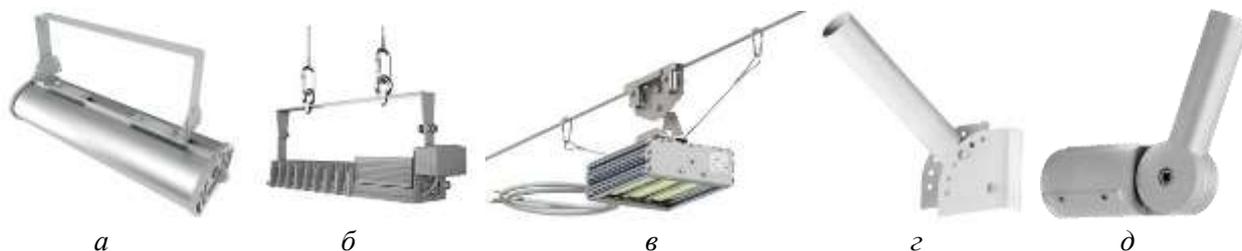


Рис. 2 Виды подвижных креплений светильников:

а – классическая поворотная лира; б – поворотная лира с рым-болтами; в – поворотная лира с тросовым подвесом; г – кронштейн с регулируемым углом наклона; д – поворотный кронштейн

Выбор способа монтажа светильника определяется в каждом случае отдельно и зависит от ряда факторов:

- Общий тип освещения и расположение конкретного светильника.
- Совместимость с поверхностью. В зависимости от того, из какого материала изготовлен фасад, конструкция крепления светильника может отличаться. Дерево, например, требует выбора арматуры, не повреждающей значительно его структуру и не создающей риска для пожара.

- Устойчивость к погодным условиям. Конструкция должна хорошо переносить воздействие влаги и света, перепадов температур. В регионах с повышенной ветровой и снеговой нагрузкой следует учитывать и эти параметры.

- Надежность и устойчивость. Конструкция должна выдерживать не только воздействия извне, но и вес осветительного прибора. Если конструкция регулируемая, то фиксация в требуемом положении также должна быть достаточно жесткой.

- Внешний вид. Должен быть либо максимально незаметным, либо органично интегрироваться в дизайн фасада.

Список литературы

1. Дорофеев Н.В., Костина Ю.О., Фролова Р.В. Анализ видов фасадного освещения зданий города Череповца // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Череповецкие научные чтения 2016». – Череповец: Изд-во ЧГУ, 2016. – С. 52–54.

2. Ставцева М.С., Суховеева Е.Е., Ким А.А. Архитектурная подсветка зданий, виды и назначение в городской среде // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2016. – С. 290–296.

3. Щепетков Н.И. Светодизайн города и интерьера: Учебное пособие для высших учебных заведений / Н.И. Щепетков. – Москва: Редакция журнала «Светотехника», 2021 – 456 с.
4. Кухта М.С., Соколов А.П., Данила К.Г. Анализ процессов формообразования в дизайне декоративных светильников // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. – № 2(22). – С. 10–14.
5. Виды крепления уличных светильников // Inventrade: сайт. – URL: <https://inventrade.ru/articles/vidy-krepleniya-ulichnykh-svetilnikov/> (Дата обращения: 10.10.2024).

МОДЕЛИРОВАНИЕ – ПОМОЩЬ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОТОВОГО ПРОДУКТА

Старобахина В.Г.

Томский политехнический университет, ИШНПТ гр. 4А31,

e-mail: vgs12@tpu.ru

Область машиностроения и проектирования многогранна и сложна, и ключевую роль в ней играет умение читать и интерпретировать технические чертежи. Однако, несмотря на важность этих навыков, не все легко и быстро овладевают ими. Причины этого кроются в уникальных различиях в том, как устроен и функционирует человеческий мозг. Сложная информация, представленная на плоских чертежах, часто оставляет пространство для домыслов, требуя от человека высокого уровня абстрактного мышления, чтобы мысленно реконструировать объемные формы, текстуры и детали. Это становится особенно сложным, если учитывать, что каждый человек воспринимает и обрабатывает визуальную информацию по-своему, за счет чего этот процесс может оказаться огромной проблемой для некоторых специалистов.

Именно в этом контексте проявляется огромная ценность трёхмерного моделирования – это технологическое новшество, способное облегчить жизнь многим профессионалам, улучшая понимание и снижая напряжение, связанное с интерпретацией сложных чертежей. Моделирование в трехмерной плоскости позволяет не только воспроизвести визуальное отображение объектов в компьютерной программе, но и интерактивно взаимодействовать с ними. Это открывает совершенно новые горизонты для восприятия и восстанавливает связь между замыслом и реальностью.

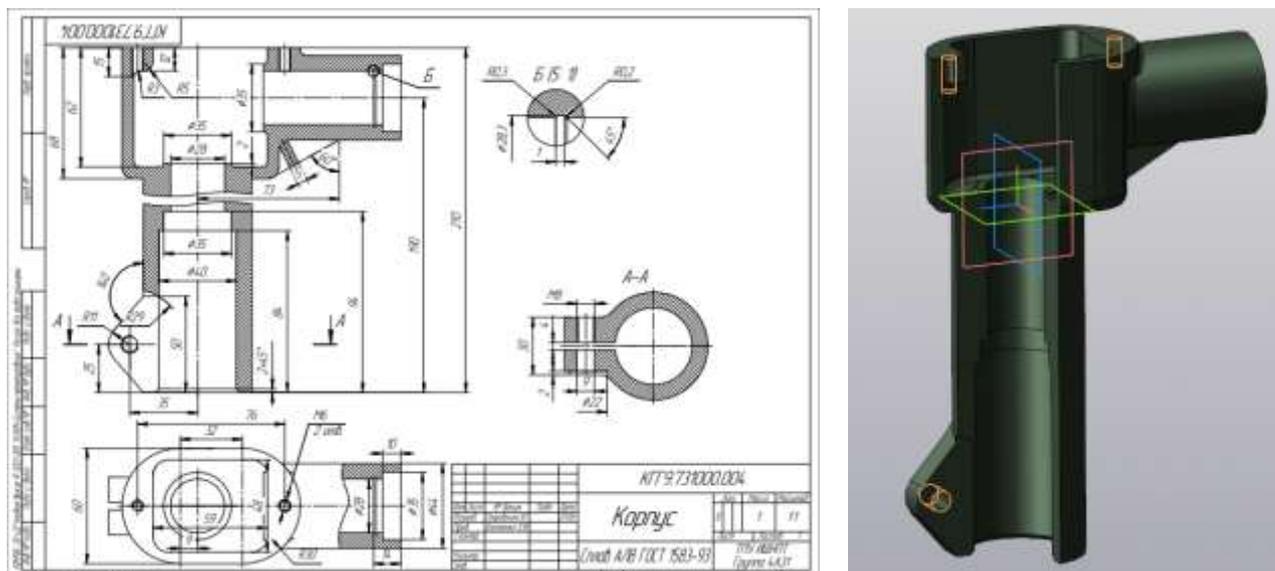


Рис. 1. Пример готового чертежа и модели

Трёхмерное восприятие объектов стоит на первом плане среди преимуществ, предоставляемых трехмерным моделированием. В отличие от плоских чертежей, трехмерные модели позволяют пользователю в полной мере ощутить объем и глубину объекта. Пользователь может вращать модель, изучать её с самых различных ракурсов, приближая её к реальности и текстуре. Это образует наиболее полное понимание форм, позволяет оценить пропорции и взаимодействие элементов, что значительно облегчает процесс визуализации и уменьшает риск ошибок.

Когда речь идет о сложных конструкциях, **визуализация деталей и их взаимодействия** становится жизненно важным аспектом. Сложные технические системы часто состоят из различных компонентов, соединение которых может вызывать трудности в понимании. Трехмерное моделирование позволяет создать чёткое изображение того, как каждая деталь совмещается с другой, как они функционируют вместе, помогая еще на этапе проектирования предвидеть проблемы. Это стратегически выгодный подход позволяет сократить этапы доработки, снизить издержки и обеспечить более гладкий процесс перехода от замысла к изготовлению.

Коммуникация и сотрудничество между междисциплинарными командами также значительно выигрывают от использования трехмерных моделей. Традиционно, работа на пересечении различных дисциплин сопряжена с рисками возникновения недопонимания и некорректной интерпретации информации. Визуальные модели обеспечивают всех участников процесса, от дизайнеров до инженеров, одинаковым и более доступным пониманием конечного продукта, что в свою очередь минимизирует вероятность ошибки и способствует эффективному командному взаимодействию.

Помимо чисто технических преимуществ, трехмерные модели также играют важную роль в **эстетической оценке и тестировании продукции**. Разработка нового продукта редко ограничивается исключительно техническими аспектами; внешний вид и тактильные качества тоже имеют большое значение для конечного потребителя. Используя трехмерные модели, можно «примерить» различные материалы, добавить текстуры или покрытия и визуально оценить их гармоничность и сочетаемость почав с виртуальных испытаний вместо того, чтобы тратить ресурсы на физическое прототипирование.

Поддержка маркетинга и обучающих программ – ещё одна область, где трехмерное моделирование становится универсальным инструментом. Обладая возможностью наглядно демонстрировать продукт с различных сторон, компании получают мощное средство для проведения презентаций, создания рекламных материалов и обучения новых сотрудников. Это значительно упрощает процесс привлечения потенциальных клиентов и инвесторов, которые могут детально ознакомиться с изделием, визуализировав его преимущества и функции, не дожидаясь выпуска первой партии или реального образца.

Таким образом, трехмерное моделирование не только улучшает процессы проектирования, но и расширяет основу для успешного продвижения, выпуска и использования новых изделий на рынке.

Список литературы

1. Мэрилин Аткинсон, Питер Стефани. Читать книгу: «Четыре типа мышления. Принципы трансформации личности. Книга I» [Текст] / Мэрилин Аткинсон, Питер Стефани – 1-е изд. – Москва: Альпина Паблишер, 2022 – 307 с. – ISBN 978-5-9614-7554-8.
2. Нейтан Яу Искусство визуализации в бизнесе. Как представить сложную информацию простыми образами [Текст] / Нейтан Яу: Манн, Иванов и Фербер, 2013 – 338 с. – ISBN 978-5-91657-737-2.
3. Орлов М.А. Настольная книга для изобретательного мышления. Азбука современной ТРИЗ. Базовый практический курс Академии Модерн ТРИЗ [Текст] / М.А. Орлов. – Москва: АСТ, 2016 – 496 с. – ISBN 978-5-17-101222-9.

ЭРГОНОМИКА В СМАРТФОНЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДНОЙ РУКОЙ

Трушляков В.А., студент-магистрант группы 8ИМ42

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

e-mail: Vat56@tpu.ru

Научный руководитель Кухта М.С.,

профессор ОАР ИШИТР

e-mail: kuhta@tpu.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются проблемы дизайна современных элементов интерфейса в смартфоне и какими способами это возможно решить.

Ключевые слова

Смартфон, экран, дисплей, интерфейс, приложение.

Введение

С момента появления первых мобильных телефонов и до сегодняшнего дня наблюдается значительное развитие смартфонов как в функциональном, так и в дизайнерском плане. Одним из ключевых аспектов дизайна смартфонов является их интерфейс, который претерпел существенные изменения в соответствии с эволюцией размеров устройств.

В процессе эволюции мобильных телефонов, они уменьшались в размерах, превращаясь в смартфоны. Изначально размеры самих устройств могли быть менее 4 дюймов, а экраны – 1–2 дюйма, что значительно меньше по сравнению с современными моделями смартфонов.

На определённом этапе смартфоны отказались от клавиатуры в пользу встроенного аналога, интегрированного в дисплей. С тех пор дисплей стал занимать значительную часть общей площади смартфона, что является одним из ключевых изменений в дизайне этих устройств.

Основная часть

С увеличением диагонали экранов до 5 дюймов и больше многие пользователи начинают испытывать дискомфорт при использовании устройства одной рукой. Это связано с тем, что при большом размере экрана сложно удерживать телефон и одновременно взаимодействовать с ним. Некоторые производители пытаются решить эту проблему за счет уменьшения размеров элементов интерфейса или создания специальных режимов, но это не всегда эффективно.

Исследования Google показали, что почти половина пользователей используют смартфоны одной рукой рисунок 1. Это привело к необходимости проектирования интерфейсов с учетом «достижимости» – размещения элементов управления в пределах легкой досягаемости для большого пальца [1].

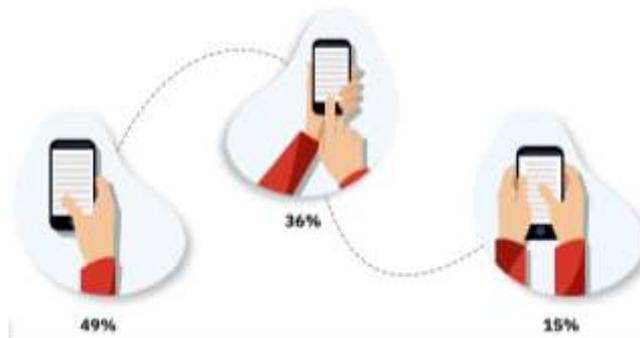


Рис. 1. Визуализация исследования от Google

Хотя некоторые операционные системы предлагают режимы одноручного использования, они не всегда работают во всех приложениях или не обеспечивают полноценного доступа ко всем функциям. В некоторых случаях элементы интерфейса могут сдвигаться вниз, но не все приложения адаптируются под этот режим, что приводит к необходимости повторного переключения между режимами [2].

Одной из основных проблем, связанных с использованием мобильных устройств с большим экраном одной рукой, является расположение элементов управления на экране. Многие приложения размещают важные кнопки и меню в верхней части дисплея, что затрудняет доступ к ним большим пальцем. В результате пользователи сталкиваются с необходимостью использования обеих рук для выполнения простых задач, таких как нажатие на кнопку меню, закрыть, обновить и т. д. [1, 3].

Разные приложения могут иметь разные жесты для выполнения схожих действий, что создает путаницу и требует от пользователей запоминания множества жестов. Например, в некоторых интерфейсах требуется провести пальцем сверху вниз для открытия меню, тогда как в других это действие может привести к обновлению данных или выполнению другого действия [2]. Это приводит к неинтуитивному взаимодействию и снижает общую эффективность использования устройства.

Поскольку большинство людей правши, рассматриваемое решение будет для правой руки, но для левой всё будет соответственно зеркально. Несколько решений может помочь справиться с неудобством пользования одной рукой. Дизайн система, основанная для одноручного использования, должна быть адаптивна для любого размера устройства и состоять из элементов находящихся примерно в середине экрана – чуть выше или чуть ниже, но не как в концах экрана, это позволит пользователю не тянуться за элементом управления. Для того чтобы в центре экрана смартфона не было лишнего визуального шума, элементы должны будут спрятаны в скрытой всплывающей панели находящаяся в левой части экрана.

Важно отметить, что такое решение может не подойти всем пользователям, и оно требует дальнейшего исследования и тестирования. Однако, если оно окажется удобным и эффективным, то может стать новым стандартом в дизайне интерфейсов смартфонов.

Заключение

Проблема одноручного использования смартфонов требует внимания и усилий со стороны разработчиков и дизайнеров. Необходимо стремиться к созданию более эргономичных и интуитивно понятных интерфейсов, которые будут удобны для пользователей.

Список литературы

1. How To Design Mobile Apps For One-Hand Usage. – 2024. – URL: <https://www.smashingmagazine.com/2020/02/design-mobile-apps-one-hand-usage/>.
2. Обзор Samsung One UI. Или еще одна неудачная попытка сделать Android удобнее – 2024. – URL: <https://deep-review.com/articles/samsung-one-ui-review/>.
3. Научился одной рукой использовать большие iPhone. Помогли эти 20 хитрых функций – 2024. – URL: <https://www.iphones.ru/iNotes/20-poleznyh-sovetov-po-bolshim-iphone-kak-spravlyatsya-s-nimi-odnoy-rukoy-11-02-2022>.

МОДУЛЬНЫЙ НОЧНИК СО СВЕТОВЫВОДЯЩЕЙ ПАНЕЛЬЮ

Турбина Е.А.¹

Научный руководитель: Туранов С. Б.²

¹НИУ ТПУ, ИШИТР, 8Д21,

e-mail: LizaTurbina@mail.ru

²НИУ ТПУ, ОМ ИШНПТ, канд. техн. наук, доцент

e-mail: turanov_sb@tpu.ru

Освещение играет ключевую роль в создании комфортной атмосферы в жилых и общественных пространствах. С развитием науки и технологий становится понятно, что помимо этого, качественный свет способствует улучшению сна и психологического состояния человека. В связи с этим, создание новых световых устройств является важной и актуальной задачей. При разработке световых приборов, все больше ценятся новые и оригинальные решения. Одним из таких является модульность. Она применяется как средство оптимизации технологических процессов: одни и те же детали используются для различных единиц товара, которые схожи по конструкции [1]. Модули могут быть отличны по цвету, форме, материалу. Но их объединяет одна глобальная функция: такой принцип дизайна позволяет пользователю создать свой уникальный продукт, а персонализированные товары привлекают большее внимание потенциальных покупателей [2].

Интересным решением для реализации модульности является применение магнитов. Магниты позволяют легко монтировать и демонтировать светильники, а также совмещать их между собой. Это упрощает процесс установки и изменения конфигурации светильника в зависимости от потребностей пользователя. Кроме того, магнитные крепления эстетичны и позволяют создавать минималистичные и современные дизайны, которые легко вписываются в различные интерьеры. Такой подход также открывает возможности для создания адаптивных систем освещения, которые могут изменять свое положение и направление света, обеспечивая максимальный комфорт и эффективность.

Для совмещения вышеуказанных подходов, был разработан модульный ночник. При его проектировании использовались метод аналогий [3] и принцип композиции. Корпус состоит из нескольких модулей: большого, среднего и малого (рис. 1). Использование разных размеров создает визуальный баланс и динамику. Большой модуль служит фокусной точкой, привлекающей внимание, а средние и малые модули добавляют глубину и разнообразие. Такая комбинация позволяет создавать простые и гармоничные композиции, играя с масштабом и пропорциями. При этом модули (параллелепипеды) обладают четкими линиями и формой, что облегчает их комбинирование. Геометрическая простота способствует симметрии и асимметрии в композициях, позволяя экспериментировать с различными расстановками. Модули между собой крепятся с помощью магнита, что обеспечивает надежную фиксацию и легкость в сборке. В качестве материала корпуса был использован фактурный пластик нейтрального цвета, так как этот выбор обеспечивает современный и стильный вид, который легко вписывается в любой интерьер.

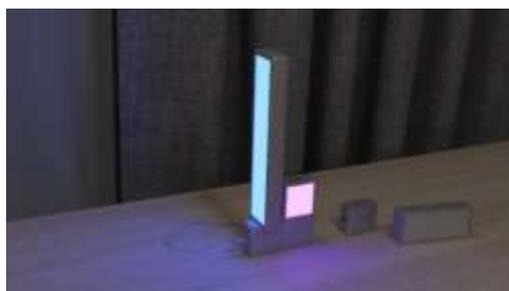
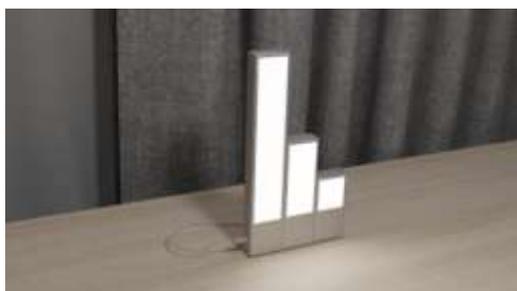


Рис. 1. Примеры составления световоцветовой композиции

Важно создать удобную систему, поэтому управление ночниками производится через приложение на смартфоне (TUYA). Внутри каждого модуля расположен литий-ионный аккумулятор (12 В, 3500 мАч), который можно заряжать через USB-порт и контроллер для управления параметрами освещения (спектральный состав и интенсивность). Это делает светильник мобильным и удобным для использования в любых условиях (нет необходимости постоянного подключения к электросети).

Основным источником света были выбраны RGBW ленты (9–12 В), которые позволяют изменять цвет и интенсивность свечения в широком диапазоне. Однако светодиоды обладают существенным недостатком – высокой яркостью. Из-за этого они могут создавать дискомфорт для глаз наблюдателя. Для решения этой проблемы производители используют матовые рассеиватели. Однако их применение сильно снижает световую эффективность устройства. В качестве альтернативы, были использованы светопроводящие панели из акрила с нанесенной на них гравировкой [4]. Такое решение позволяет получить мягкое и комфортное освещение, без слепящего эффекта. Светодиодная лента размещается в корпусе модуля и таким образом скрыта от глаза наблюдателя, а свет от нее равномерно распространяется в пространстве с помощью панелей.

Таким образом, разработанный модульный ночник с магнитными креплениями даст возможность пользователям составлять разнообразные цветоцветовые композиции, адаптируя освещение под свои предпочтения и настроение. Благодаря модульности, пользователи могут легко наращивать светильник, комбинируя модули различных размеров и форм, что поможет им экспериментировать с дизайнами и визуальными эффектами. Предложенные решения превращают классический процесс освещения в творческое занятие.

Список литературы

1. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ // books.google: сайт. – 2013. – URL: <https://clck.ru/3EbLVv>.
2. Персонализация как неотъемлемый аспект деятельности современной организации // paradigm34: сайт. – 2021. – URL: https://paradigm34.ru/issues/Parad_2021_N1.pdf#page=50.
3. Креативные методы дизайна (1-й уровень освоения) // irbis.amursu: сайт. – 2015. – URL: https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6928.pdf.
4. Study on the optical performance of light guide plate with pyramid-shaped microstructures // sciencedirect: сайт. – 2021. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402621015916?via%3Dihub>.

ВЫЯВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АППАРАТУ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ

Турбина Е.А.¹, Вехтер Е.В.², Туранов С.Б.³

¹НИУ ТПУ, ИШИТР, 8Д21,

e-mail: LizaTurbina@mail.ru

²НИУ ТПУ, ИШИТР, Кандидат педагогических наук, доцент,

e-mail: vehter@tpu.ru

³НИУ ТПУ, ОМ ИШНПТ, Кандидат технических наук, доцент,

e-mail: turanov_sb@tpu.ru

Ключевые слова

Требования к проектированию, лекарственное растение, фитобокс.

Аннотация. За последние годы в России наблюдается тенденция поддержания здоровья. Один из вариантов – добавление в рацион лечебных трав. Фармацевтические компании не всегда гарантируют качество отобранных продуктов, которые должны сохранять полезные компоненты. Но благодаря фитобоксу лечебные травы можно было бы выращивать в домашних условиях. Возникает необходимость в перечне требований к такому аппарату для дальнейшего проектирования.

Введение. Поддержание сбалансированного питания напрямую влияет на качество и продолжительность жизни. Отношение к здоровью значительно изменилось после пандемии COVID-19, по причине которой многие переболевшие получили осложнения [1]. По данным Росстата привычки здорового питания у россиян изменились за последние пять лет. Граждане стали больше внимания уделять качеству своего рациона [2]. Российский рынок продовольствия демонстрирует увеличение ассортимента продуктов, которые поддерживают здоровье в норме. Появляется необходимость в составлении личного плана поддержания здоровья в зависимости от недостающих компонентов. Для данной цели также в рацион добавляют лечебные травы по нескольким причинам: дешевизна в сравнение с синтетическими лекарственными препаратами, отсутствие привыкания, и, кроме того, малая вероятность развития побочных реакций [3]. Концентрация важных веществ в одном и том же растении может зависеть от времени года или суток, количества осадков или солнечных дней, а также состава почвы. Также накопление происходит неравномерно: одни компоненты могут откладываться в листья, другие в корневища [4]. Контролируемое выращивание нужных трав в домашних условиях позволило бы пользователю решить существующую проблему.

Возникает необходимость в изучении требований для дальнейшего создания аппарата по выращиванию лекарственных растений в домашних условиях, который бы позволял сохранять полезные компоненты и поддерживать здоровье пользователя.

Исследование

В ходе исследования была составлена иерархия (рис. 1) для выявления основной ценности проектируемого объекта. Она составляется на основе концептуальных, эмпирических и технических исследований [5], чтобы в дальнейшем определить специфику создаваемого аппарата. Созданная иерархия позволила структурировать собранную информацию и требования.

Кроме того, проведено исследование лекарственных растений сборника о лечебных свойствах [6]. Для удобства восприятия информация была составлена в табл. 1.

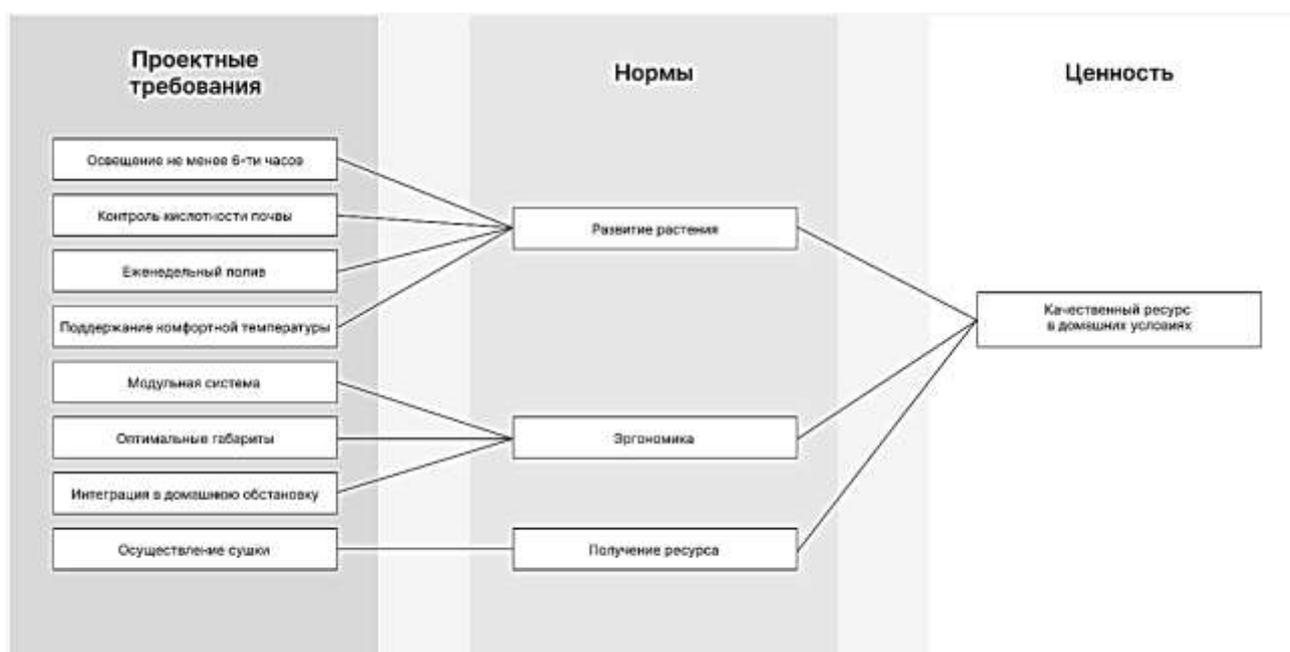


Рис. 1. Иерархия ценностей при восходящем движении

Таблица 1

Характеристики лекарственных растений

Лекарственное растение	Условия выращивания	Макс. высота	Т-ра сушки
Тысячелистник	Не менее 6-ти часов солнечного освещения; Ph почвы 5.5–7; Умеренная влажность, выдерживает периоды засухи (еженедельный полив); Идеальная температура: 20–35 °С.	30 см – 1 м	40–50 °С Сбор во время цветения
Шалфей	Не менее 6-ти часов солнечного света; Еженедельный полив без переувлажнения; Ph 6,5–7,5, дренированная почва; Идеальная температура: от 10 до 35 °С.	30 см – 1 м	Не более 40 °С Сбор во время бутонизации
Лаванда узколистная (Lavandula angustifolia)	Не менее 6 часов солнечного света; Еженедельный полив; pH 6.5–7.5, дренированная почва; Идеальная температура: от 5 до 35 °С.	50 см – 2 м	До 140 °С Сбор во время цветения
Мята перечная	Не менее 6 часов солнечного света; Еженедельный полив; pH от 6.5 до 7.5, дренированная почва; Идеальная температура от 0 до 32 °С.	30 см – 1 м	40–45 °С Сбор во время бутонизации
Горец птичий (спорыш)	Не менее 3–6 часов солнечного света; Еженедельный полив; pH от 5 до 7; Идеальная температура от 20 до 35 °С.	10–40 см	40–50 °С

Результат. На основе представленной информации были выявлены требования к созданию фитобокса для выращивания лекарственных растений:

- 1) освещение должно быть не менее 6-ти часов в день;
- 2) осуществление контроля кислотности почвы;
- 3) еженедельный полив;
- 4) поддержание комфортной температуры;
- 5) создание модульной системы, в которой каждый элемент имеет свои габариты в зависимости от размеров выращиваемого растения;

б) выбор оптимальных габаритов одного модуля в зависимости от размеров растения. Так как пользователю не нужно, чтобы, например, лаванда выростала до 2 м в высоту, то следует подобрать такие параметры, при которых была бы максимальная выгода от ресурса;

7) осуществление сушки собранных ресурсов (листья, цветы) путем отвода тепла от светодиодов;

8) интеграция в домашнюю обстановку.

Вывод

Выращивание собственных лекарственных растений в домашних условиях приведет к получению качественного ресурса для поддержания здоровья. Для таких целей следует использовать специальный аппарат – фитобокс, который бы способствовал качественному и эффективному уходу.

Список литературы

1. Красота изнутри: как пандемия поставила вопросы здоровья на первое место // Forbes: сайт. – 2021. – URL: <https://clck.ru/3Eeh2R>.

2. Как изменилось отношение россиян к здоровому питанию за пять лет // РБК: сайт. – 2024. – URL: <https://clck.ru/3Eeh2x>.

3. Николаева И.Г. Разработка и стандартизация средств растительного происхождения, обладающих адапто-генной активностью: Автореф. дис. ... д-ра фармацевт. наук. – Улан-Удэ, 2012. – 48 с.

4. Травы: от лекарства до отравы // Элементы: сайт. – 2010. – URL: <https://clck.ru/3Eeh3E>.

5. Теория и методология ценностно-ориентированного дизайна: критический анализ // cyberleninka: сайт. – 2021. – URL: <https://clck.ru/3Eeh3j>.

6. Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1983. – 400 с.

СЕКЦИЯ 7
НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

*Мусатова Ю.С., студентка гр. 310/1с,
Савкович А.А., магистрантка гр. М23.24/1
Власов Ю.А., д.т.н., проф.,
Фукс В.Р., к.т.н., доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-48-77
e-mail: Yury2006@Yandex.ru*

Комплексному изучению загрязненности нефтепродуктов посвящено большое количество работ [1, 2, 4, 5]. Каждый нефтепродукт (топливо или масло) содержит загрязнения, возникшие в процессе его производства; загрязнения, образованные за счет контакта с атмосферой; загрязнения, полученные в результате износа трущихся пар или в результате физико-химических изменений и разложений.

Нефтяное сырье, из которого изготавливают товарные нефтепродукты, может быть загрязнено минеральными компонентами в виде окислов металлов и кварца в количестве до 60% (масс.), а компоненты органического происхождения до 20 % (масс.) и более [1].

В процессе транспортировки и эксплуатации транспортных машин происходит непрерывное загрязнение нефтепродуктов. Атмосферная пыль и влага проникают в топливные баки и масляные резервуары при открытой заправке через заливные горловины или через «дыхательные» клапаны резервуаров [1, 5].

Частицы загрязнений в нефтепродукты могут попасть вследствие износа перекачивающего оборудования топливных, смазочных и гидравлических систем.

Одним из основных факторов, загрязняющих нефтепродукты, является их окисление. Атмосферные осадки, содержащие воду и различные неорганические вещества, оказывают наибольшее загрязняющее воздействие на нефтепродукты, при которых особенно активно протекают процессы окисления. Окислению способствуют солнечная радиация, высокие температуры и присутствие катализаторов.

В процессе длительного хранения нефтепродуктов при положительных температурах в нефтяной среде могут развиваться колонии микроорганизмов, водорослей и грибов [1, 2, 5].

Вода в нефтепродуктах может находиться в растворенном состоянии, в виде эмульсий, в кристаллической форме при охлаждении и в виде отстоя (подтоварной воды) [1, 5].

С увеличением температуры, влажности воздуха и давления повышает растворимость воды, что негативно сказывается на росте концентрации воды в нефтепродуктах.

Дисперсная вода обуславливается ее конденсированием из растворенной воды в топливе или масле при охлаждении. Дисперсный состав и концентрация эмульсионной воды также будут зависеть от соотношения газовой и жидкой фаз в емкости (резервуар нефтесклада или масляный, топливный бак). Исследованиями установлено [1, 4], что вода в топливе может находиться в виде капель размером 15–30 мкм.

Подтоварная вода может образовываться за счет эмульсионной, осажженной на дно резервуара и бака. Интеобразование или попадание атмосферных осадков через негерметичные соединения также могут повысить концентрацию подтоварной воды в емкостях, при неудовлетворительной организации нефтескладского хозяйства.

Кислород, растворенный в нефтепродуктах, является одной из причин изменения свойств нефтепродуктов [1, 5]. Растворенные в нефтепродукте газы при высоких давлениях образуют газовые эмульсии и пены, снижают термоокислительную стабильность, повышают эрозионное разрушение поверхностей и другие отрицательные явления.

Загрязненные нефтепродукты содержат в себе достаточно сложный комплекс веществ органического (вода, воздух, окислы и соединения металлов) и неорганического (углеводо-

роды, соли карбоновых кислот, смолы, асфальтены, бактерии и грибки) происхождения. При этом состав загрязнений нефтепродуктов несет в себе разное фазовое состояние – твердое, жидкое, газообразное и пластичное [5].

Из анализа содержания загрязнений видно, что загрязненность нефтепродуктов одного и того же типа может изменяться в широких пределах, что также обусловлено разнообразием условий эксплуатации технологических машин и нефтепродуктов.

Концентрации загрязнений нефтепродуктов, попавших в машину, характеризуют ее техническое состояние. Незначительные концентрации частиц, размер которых соизмерим с рабочим зазором в механизмах, могут исчисляться миллионами штук. Эксперимент [1, 5] и расчет показывает, что за время эксплуатации насоса (5 тыс. ч) с подачей 60 л/мин при условной загрязненности 50 г/т через насос пройдет 775 кг загрязнений с размерами частиц более 5 мкм. В этой связи требования к чистоте нефтепродуктов определяются не массовым содержанием загрязняющих компонентов, а количеством частиц определенных размерных групп [3, 5].

Размер твердых частиц, попадающих в зазор между поверхностями трения, во многом определяет износ деталей. От размера частиц также зависит и эффективность работы фильтроэлементов. Комплекс сведений о размерах частиц и их влияние на изнашивание составляет базу данных для разработки технических требований к воздушным, топливным и масляным фильтрам. Эти данные являются необходимыми при разработке методов и средств диагностирования агрегатов и систем машин.

В работах [2, 4, 5] приводятся зависимости износа поршневых колец и цилиндров от загрязнителей различного фракционного состава, принудительно вводимых в двигатель. Наблюдается один общий признак – максимальный износ вызывают частицы размером от 15 до 30 мкм. Увеличение частиц от 3–5 мкм до 15–30 мкм износ колец увеличивается в 2–4 раза. С увеличением размера частиц свыше 15–30 мкм изнашивание колец уменьшается. Объясняется данный результат тем, что зазор между кольцом и цилиндром обладает фильтрующим свойством, и частицы более крупного размера в зазор проникают не все.

В эксплуатации дисперсный состав пыли, проникающий в двигатель, меняется в зависимости от времени и места работы машины в широком диапазоне. Дисперсный состав пыли изменяется и при прохождении ее через фильтры, а также при дроблении абразивных частиц в парах трения. Изменение дисперсного состава пыли влечет изменение и ее абразивной способности.

При решении вопросов оценки дисперсного состава пылей и продуктов абразивного износа часто возникают трудности, связанные с несовершенством существующих методов дисперсного анализа, которые не дают устойчивых результатов при определении частиц меньше 10 мкм. Такие частицы, как правило, оказывают решающее влияние на эффективность работы воздушных, топливных и масляных фильтров. Следовательно, необходим такой метод дисперсионного анализа нефтепродуктов, который бы наилучшим образом соответствовал оценке загрязнений частицами установленных размерных групп.

Список литературы

1. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 216 с.
2. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
3. ГОСТ 17216-2001 Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. – Москва: Изд-во стандартов, 2001. – 12 с
4. Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел: препринт / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Л.А. Фельдман, А.В. Юдин, О.Н. Петров. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 105 с.
5. Польшинский, В.Д. Диссертация: Выпускная квалификационная работа. Разработка технологии повышения чистоты моторного топлива при эксплуатации дизельных машин / В.Д. Польшинский, 2018. – 89 с. – URL: <https://lib.rucont.ru/efd/681387> (дата обращения: 14.10.2024).

ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА ГРУБОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Мусатова Ю.С., студентка гр. 310/1с,
Савкович А.А., магистрантка гр. М23.24/1
Власов Ю.А., д.т.н., проф.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-48-77
e-mail: Yury2006@Yandex.ru*

Методы дисперсионного анализа нашли широкое применение при оценке степени загрязненности товарных нефтепродуктов. Наиболее распространены такие методы анализа как микроскопический, седиментометрический, диффузионный, фильтрационный и др.

Микроскопический метод. Можно довольно точно определить размеры отдельных частиц по измерительной шкале в окуляре микроскопа.

Определение размеров отдельных частиц производится путем отсчета числа делений окулярной шкалы на расстоянии, в котором укладывается изображение частицы. Затем умножают это число на цену деления шкалы при данном увеличении. При необходимости отдельно измеряют длину и ширину частиц. Для того чтобы частицы не накладывались друг на друга, концентрация дисперсной фазы должна быть не слишком большой, а для исключения коагуляции в пробы добавляют дистиллированную воду. Подсчеты рекомендуется проводить на большом числе проб исследуемой дисперсной системы при различных увеличениях.

Как отмечается в работах основным преимуществом микроскопического метода является возможность непосредственного наблюдения и измерения частиц изучаемой дисперсной среды. Однако можно отметить следующие недостатки данного метода: невысокая точность результатов измерения частиц полиразмерных фракций, ошибки, вносимые ограничением точности измерения, наличие частиц неправильной формы, загрязнение предметного стекла, коагуляция частиц, большие объемы исследуемого объекта, субъективные факторы наблюдателя. Ошибки, вносимые этими факторами, нередко составляют более 20% от точности измерения. На микроскопические методы измерения частиц и подсчета затрачивается значительное время, и они являются чрезвычайно утомительными и кропотливыми.

Наиболее приемлемы микроскопические методы оценки дисперсного состава как вспомогательные, дающие возможность непосредственного наблюдения за исследуемым объектом.

Метод фильтрации. По своему принципу метод фильтрации базируется на использовании пористых материалов с размером отверстий, лежащими в некотором интервале, и приемлем для жидкой дисперсной среды. Применяется, как правило, для изучения суспензий, коллоидов и осадков с размерами частиц от 0,1 мкм до 100 мкм.

Основным недостатком фильтрационного анализа является то, что полной дисперсной характеристики коллоидных систем и тонких порошков пока получить крайне сложно [2...4].

Нефелометрия. Метод основан на законах рассеяния света (закон Рэлея) в дисперсных коллоидных и высокодисперсных системах. Данный метод является относительным, так как базируется на сравнении величины мутности раствора исследуемого с соответствующим эталонным [2].

Рассеяние света в растворах с одинаковыми весовыми концентрациями дисперсной фазы, но с различными размерами частиц, различно. Нахождение функции распределения дисперсных систем данным методом достаточно трудно. Метод нашел применение при изучении дисперсных систем коллоидных размеров [4].

Диффузионный метод. Метод основан на применении законов диффузии к частицам коллоидных растворов и высокомолекулярных соединений. При современном состоянии технического обеспечения диффузионный метод позволяет устанавливать средние размеры

коллоидных частиц. Данный метод нашел применение для исследования высокодисперсных систем [4].

Адсорбционный метод. Определяя величину предельной адсорбции подходящего вещества на порошке, можно судить о величине удельной поверхности этого порошка, суспендированного в соответствующем растворе. Адсорбционные методы позволяют судить не только о размере, но и о структуре частиц. Методы удобно применять при сравнении дисперсности порошков одного и того же материала. Метод обладает основным преимуществом – возможностью применения в широких границах дисперсности [4].

Метод скорости растворения. Данный метод основан на принципе пропорциональности скорости растворения твердого тела, к величине его поверхности. Результаты этого метода сильно зависят от скорости и стандартности перемешивания растворителя и концентрации растворяющего агента. Метод применяется для контроля процессов диспергирования, но не дает количественные данные о характере распределения дисперсных систем [2].

Все вышеперечисленные методы имеют, как правило, специальное значение и применяются чаще всего для исследования коллоидных растворов и реже для грубодисперсных систем, например, для оценки степени загрязненности товарных нефтепродуктов – смазочных масел, топлив и других эксплуатационных жидкостей [3].

Седиментационный (седиментометрический) анализ. Принцип седиментации состоит в экспериментальном определении скорости оседания частиц дисперсной фазы в полидисперсной среде [2]. Измеряя скорости оседания частиц легко найти средние размеры этих частиц в суспензии, так как скорость оседания пропорциональна квадрату их размеров. Основными и несомненными преимуществами перед вышеизложенными методами является достаточно точное определение размеров частиц в широком интервале дисперсности при сравнительно малых затратах времени.

Методы седиментационного анализа можно разбить на две группы:

- методы анализа в силовом поле земного тяготения;
- методы анализа в центробежном (сепарация) и других силовых полях.

В свою очередь методы седиментационного анализа в силовом поле земли и в центробежных полях можно так же разделить на две большие группы:

- методы отмучивания (шламовый анализ), основаны на разделении исследуемой дисперсной среды на фракции с определенным интервалом размеров частиц;
- методы, основанные на определении скорости совместного оседания частиц различных размеров в определенной дисперсной среде, без разделения на фракции по размерам частиц.

Методы седиментометрического анализа достаточно обширны по числу различных принципов, положенных в основу приборного оснащения. Конструкции таких приборов позволяют проводить седиментометрические измерения по различным признакам: микроскопические и макроскопические методы; методы седиментации суспензии с равномерной по объему начальной концентрацией дисперсной фазой и седиментации с раздельным оседанием частиц различных размеров в чистой дисперсной среде.

На основании изложенного материала и в соответствии с работами [1...4], приведена классификация методов и средств дисперсионного анализа по группам в зависимости от получаемых характеристик степени дисперсности исследуемых материалов (рис. 1).

Вывод. Приведенный краткий обзор методов дисперсионного анализа показал, что не все методы обеспечивают широкие возможности, какие предоставляет седиментометрический метод для исследования дисперсных систем. Теоретические основы метода седиментации [1] показывают возможность выявления тех закономерностей, которые приемлемы для его практической реализации, т. е. для оценки степени загрязненности товарных нефтепродуктов.

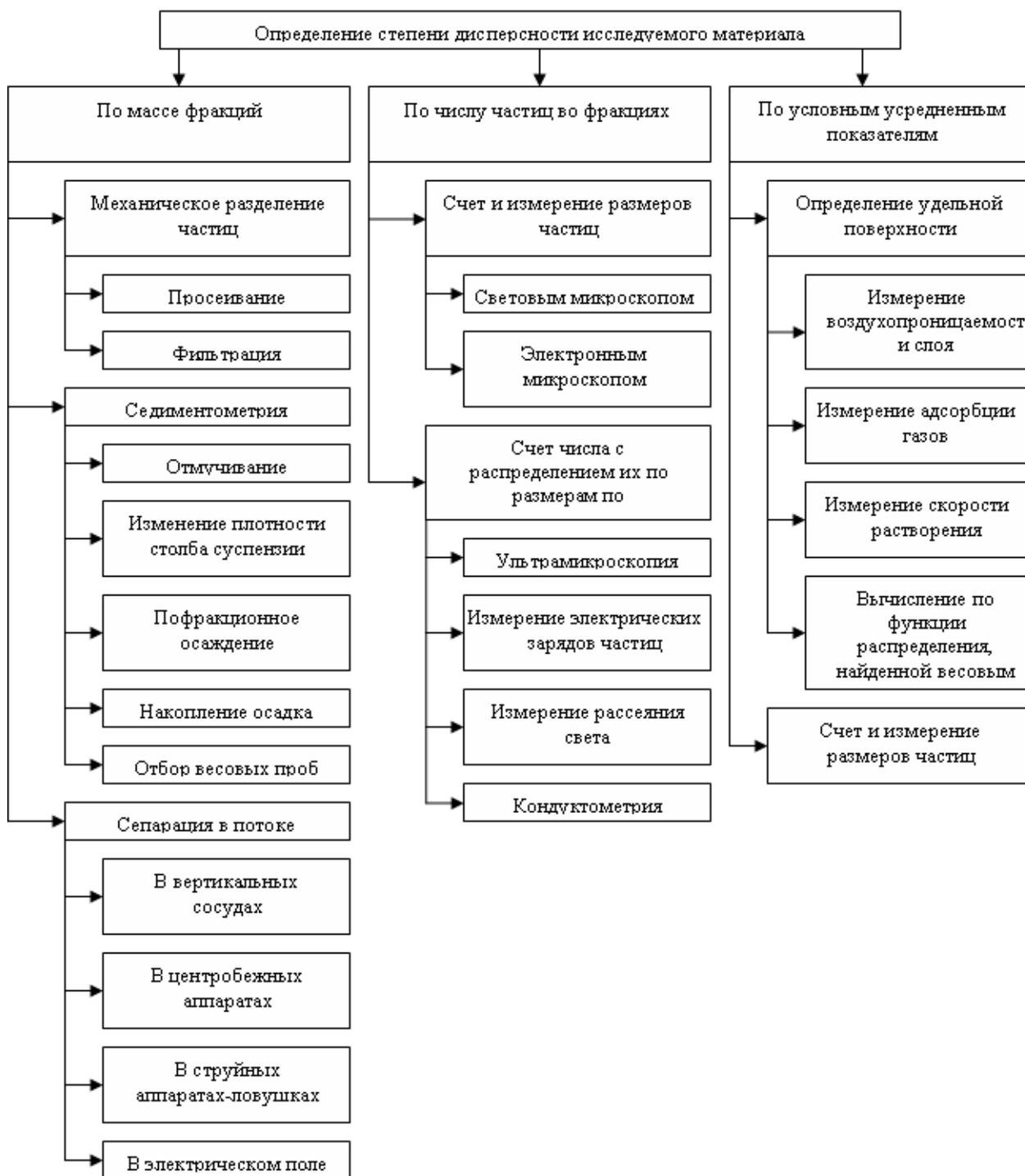


Рис. 1. Классификация дисперсионного анализа

Список литературы

1. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
2. Фигуровский Н.А. Седиментометрический анализ / под ред. П.А. Ребиндера. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 332 с.
3. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 216 с.
4. Коллоидная химия: учеб. для университетов и химико-технолог. вузов / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Высш. шк., 2007. – 444 с.

СЕДИМЕНТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Мусатова Ю.С., студентка гр. 310/1с,
Савкович А.А., магистрантка гр. М23.24/1
Власов Ю.А., д.т.н., проф.,
Фукс В.Р., к.т.н., доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-48-77
e-mail: Yury2006@Yandex.ru

Методы седиментометрического анализа (СМА) грубодисперсных систем нашли широкое научное и прикладное применение в производственной практике. Существующие методы СМА разделяются на две основные группы: в силовом поле и в гравитационном поле Земли. Причем такие исследователи, как Фигуровский Н.А. [1] и Коузов П.А. [2] в своих работах не ограничиваются данными методами дисперсионного анализа, и говорят об исключительном значении СМА, с точки зрения широких возможностей, которые предоставляются экспериментаторам, и побуждают к поиску новых методов при решении поставленных задач [3].

На основании выдвинутой гипотезы [4] о возможности определения дисперсных частиц в нефтепродуктах под воздействием электрического поля внесем корректировку в существующую классификацию методов СМА дисперсных материалов дополнив промежуточным комбинированным методом СМА (рис. 1). Комбинированный метод СМА должен учитывать свойства и возможности, как силового, так и гравитационного поля.



Рис. 1. Способ седиментометрического анализа дисперсных систем: существующие классификационные связи; предлагаемые связи комбинированного способа

Необходимым условием выбора способа анализа является размер анализируемых частиц.

Способы в силовом поле применяются для исследования дисперсных систем с размерами частиц от 0,15 мкм до 4 мкм [2], что не представляет интереса для оценки свойств нефтепродуктов.

Способы в гравитационном поле земного тяготения используются для оценки грубодисперсных систем. Анализ их возможностей позволит критически оценить их соответствие по отношению к выдвинутой гипотезе.

Способы отмучивания основаны на отделении дисперсной фазы фракции с размерами частиц меньшими критического значения. Вес дисперсной фазы меняется после разделения столба суспензии на две части путем отстаивания и сливания ее верхнего объема до заданного уровня через строго определенный промежуток времени с начала седиментации. Частицы дисперсной среды после отделения фракции взвешиваются или исследуются под микроскопом.

Способ проведения анализа весьма длителен по времени (14–16 дней и более) и из-за высокой трудоемкости не нашел широкого применения [2].

Способы измерения плотности столба суспензии основаны на изменении массы выпавших из суспензии частиц от начала оседания и до полного выпадения дисперсной фазы. Исходя из плотностей чистой среды и дисперсной среды суспензии, можно определить концентрацию частиц в суспензии.

Недостатком данного способа является высокая трудоемкость проведения анализа.

Способы отбора весовых проб основаны на последовательном отборе проб на известной глубине суспензии в фиксированный момент времени и определении массы твердой фазы в отобранной пробе после выпаривания или высушивания [5]. Данный способ используют для суспензий с размером частиц не более 50 мкм, так как при определении частиц большего размера быстро растет процент ошибки измерения [2].

Данный способ достаточно трудоемок и по своей сути не является экспресс-методом.

Микрометоды основаны на непосредственном определении скорости оседания частиц при измерении малых концентраций дисперсной фазы при высоте столба суспензии до 1–2 см. Измерение скорости седиментации выполняется с помощью микроскопа по времени прохождения частицей специально отмеченных делений шкалы окуляра.

Микрометод отличается от микроскопического тем, что эквивалентные размеры частиц определяются не путем прямых измерений, а по скорости оседания. Это обстоятельство исключает необходимость многократных измерений частиц неправильной формы в различных направлениях и число измерений частиц по скорости оседания может быть значительно меньшим. По своей сути данный метод является экспрессным, так как значительно сокращает время на проведение анализов по сравнению с обычными приемами седиментометрирования. Основным достоинством данного метода является тот факт, что процессы оседания частиц дисперсной фазы в малом объеме подчиняются закону Стокса [1], и это позволяет использовать его для разработки новых технических решений седиментационного анализа.

Микрометод целесообразно выбрать в качестве способа определения в нефтепродуктах частиц износа, атмосферной пыли и других фиксируемых продуктов загрязнения.

Способ пофракционного оседания основан на том, что из верхнего слоя дисперсной среды в первую очередь выпадают наиболее тяжелые фракции и крупные частицы [6]. Они, пройдя определенный путь, равный высоте столба суспензии, оседают на дне, и по скорости оседания можно всегда определить размер частиц, а по массе осадка определить их концентрацию.

Недостатком такого способа является неравномерное оседание частиц в результате изменения плотности дисперсной среды в верхней части при введении концентрированной суспензии. Данный способ подчиняется закону Стокса, и приемлем для использования в качестве экспресс-анализа при определении дисперсных загрязнений в нефтепродуктах.

Способ накопления осадка основан на измерении массы дисперсной фазы, выпадающей из столба суспензии известной высоты, к заданным моментам времени [1]. Предполагается,

что к моменту начала анализа полидисперсные частицы в суспензии распределяются равномерно, и что частицы каждого размера оседают в дисперсной среде со своей скоростью в соответствии с их массой.

Процесс накопления осадка монодисперсной фракции протекает по линейной зависимости до окончания процесса седиментации [1]

$$m = kt,$$

где m – масса осадка, выпавшая в начальный период седиментации; k – коэффициент пропорциональности (в графическом выражении угловой коэффициент прямой $k = tg\alpha$) или скорость седиментации; t – время оседания.

В полидисперсной суспензии накопление осадка выражается функцией $m = f(t)$, где приращение массы осадка частиц различных размеров асимптотически приближается к максимальной массе осадка в суспензии. Процесс накопления осадка замедляется при полном выпадении дисперсной фазы. Функцию распределения дисперсной фазы получают графическим дифференцированием функции накопления осадка.

По своей сути метод является аналитическим, но он позволяет определять размеры частиц разных фракций.

Таким образом, для определения дисперсных частиц загрязнения нефтепродуктов методом седиментации наиболее подходящими являются способы пофракционного оседания, накопления осадка и микрометод.

Исследуемый нефтепродукт с учетом загрязняющих компонентов, по своей сути, является диэлектриком. Если такой диэлектрик поместить в электрическое поле плоского конденсатора, то фиксировать степень загрязненности нефтепродукта путем пофракционного оседания частиц на обкладках конденсатора можно будет по изменению его проводимости и диэлектрической проницаемости. Такие электрофизические параметры пропорциональны концентрации загрязняющих компонентов, с учетом их гранулометрического состава, и толщины слоя диэлектрика. Следовательно, появляется возможность проводить седиментометрический анализ дисперсных систем комбинированным способом (рисунок 1) и оценивать степень загрязнённости товарных нефтепродуктов (смазочных масел, гидравлических жидкостей, моторных топлив) на новых электрофизических основах [7].

Список литературы

1. Фигуровский Н.А. Седиментометрический анализ / под ред. П.А. Ребиндера. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 332 с.
2. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
3. Пушнин В.П. Изменение дисперсности дизельной сажи при замене сорта топлива и введения присадок / В.П. Пушнин, Д.О. Заонегин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 2. – С. 187–189.
4. Власов Ю.А. Электрофизические методы контроля системы «машина – масло» / Ю.А. Власов, Н.Т. Тищенко, В.О. Гильц, О.В. Ляпина // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы I Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: Изд-во фил. КузГТУ, 2011. – С. 66–69.
5. Куц В.П., Слободян С.М. Методика анализа дисперсности пыли и порошков // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 2. – С. 103–109.
6. Исследование влияния аэродинамических характеристик пыли пищевых производств на запыленность городских территорий / А.С. Татов, П.А. Сидякин, П.С. Чернов, Ю.В. Коновалова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11. – С. 954–959.
7. Способ диагностики агрегатов машин по параметрам работающего масла / Власов Ю.А., Тищенко Н.Т., Будько Ю.А. и др.: пат. 2473884 Рос. Федерация. № 2011139525/28; заявл. 28.09.2011; опубл. 27.01.2013, Бюл. № 3. – 9 с.

СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Исаенко В.Д.¹, Исаенко П.В.¹, Исаенко А.В.¹,

*¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

Параметр, характеризующей содержание дорожной пыли в воздухе, называется запыленностью. Под запыленностью понимается количество пыли в граммах, содержание в одном кубическом метре воздуха. При концентрации, равной $0,001 \text{ г/м}^3$ и менее, пыль не оказывает заметного влияния на износ двигателя внутреннего сгорания. В зависимости от дорожных и погодных условий, характера работы, их типов, скорости движения, силы и направления ветра погодных условий, конструктивных особенностей и места расположения воздухозаборника и воздушных фильтров, запыленность воздуха поступающего в двигатель через воздушный тракт и топливом изменяется в весьма широких пределах. Особенно заметно она меняется в зависимости от высоты установки заборника воздуха относительно уровня дороги и об устройства топливных баков дыхательными клапанами соответствующими фильтрами.

При выполнении машинами работ, не вызывающих значительного влияния на запыление атмосферного воздуха, а также при влажной погоде или в зимнее время года концентрация пыли в воздухе, засасываемом в дизель, составляет сотые, а порой и тысячи доли частиц пыли на 1 м^3 . В тоже время запыленность воздуха при движении автомобиля по различным дорогам может колебаться в пределах от 1 до 1000 мг/м^3 и выше. В среднем при движении автомобиля по асфальтированному шоссе, содержание пыли в воздухе составляет в летних условиях примерно до 6000 мг/м^3 . При содержании пыли $1,5 \text{ г/м}^3$ теряется видимость. В двигатель ЗМЗ-53 за 8 часов непрерывного движения автомобиля при запыленности воздуха 500 мг/м^3 и степени очистки воздуха воздушным фильтром 98 % проникает примерно 13 г пыли. В зависимости от запыленности района эксплуатации и климатических условий в топливных баках автомобилей находится также 200–300 г загрязняемых примесей на тонну топлива. В особенности это характерно для автомобилей-самосвалов и при работе грузовых автомобилей на стройках, в карьерах и на грунтовых дорогах в сельской местности. Наблюдения показывают, что летом загрязненность воздуха в сравнении с зимой возрастает примерно в 1,5 раза [1].

В табл. 1 приведены среднегодовые сведения о запыленности воздуха в зоне воздухозаборника и топливного бака некоторых машин [2].

Таблица 1

Запыленность атмосферного воздуха при работе различных машин

Машины по назначению	Запыленность, г/м^3	
	У воздухозаборника	У топливного бака
1. Строительно-дорожные машины: бульдозер скрепер погрузчик автогрейдер	0,315–1,50	0,222–2,2
	0,442–0,964	0,523–1,12
	0,530–0,950	0,612–2,35
	0,218–0,615	0,332–1,37
2. Промышленные бульдозеры при работе в карьерах	1,87–10,8	2,2–10,3
3. Автомобили БелАЗ на вывозке угля	1,15–5,45	3,4–11,7
4. Сельскохозяйственные машины: автомобили при перевозке сельхозпродуктов пахотные трактора	0,185–0,55	0,27–0,48
	4,4–5,2	3,8–6,17
5. Автомобили, работающие: в городской черте в загородной зоне	0,0032–0,12	0,0141–0,824
	0,0012–0,025	0,0172–0,318

На величину абразивного износа поверхности сопряженных деталей влияние оказывает не столько и не только запыленности воздуха, как размер и твердость частиц пыли, засасываемой во внутренние полости двигателя.

Экспериментально установлено, что практически безвредными для работы двигателя являются пылинки размером 0,001 мм. Однако такая степень очистки воздуха связана со значительными потерями мощности, поэтому допускается попадание в двигатель частиц большего размера, но очень малой концентрации.

В реальных условиях эксплуатации автотранспортных средств, сельскохозяйственных машин, технологического автотранспорта и машин другого назначения в воздухе присутствуют частицы пыли с широким диапазоном размеров, в том числе и от 40 до 80 мкм и более (табл. 2).

Таблица 2

Процентное распределение дисперсного состава пыли в зависимости от функций машин и высоты забор пробы

Место отбора пробы	Высота отбора, м	Характер выполняемой работы машины	Размер частиц пыли, мкм					
			До 5	5–20	20–40	40–60	60–80	свыше 80
У поверхности почвы	0,2	АТС. Перевозка грузов по грунтовке	10–15	13–17	15–20	22–28	20–26	5–10
	0,25	Гусеничные тракторы. Полевые работы	0,1–1,0	5–13	17–25	22–32	30–37	5–10
	0,30	Карьерный автосамосвал. Вскрышные работы	0,53	5,12	14,73	24,43	25,82	29,37
На уровне воздухозаборника	2,5	АТС. Перевозка грузов по грунтовке	20–25	20–25	18–22	23–28	10–18	5–13
	2,0	Гусеничные тракторы. Полевые работы	23–30	20–26	20–23	12–18	6–16	5–10
	5,0	Карьерный автосамосвал. Вскрышные работы	21,3	31,3	18,4	13,4	9,2	6,4

Прочность частиц пыли зависит от природы почвы (грунта) и её состава.

По данным НАМИ [3] в состав пыли входит: до 68 % – двуокись кремния или кварц (SiO_2); до 15 % – окись алюминия или глинозем (Al_2O_3); до 6,5 % – окись железа (Fe_2O_3); а также до 10 % соединения кальция (Ca), магния (Mg); натрия (Na) и другие элементы. Наиболее распространен в пыли кварц, твердость которого значительно выше твердости ряда конструкционных материалов, применяемых в двигателестроении. Его содержание в дорожной пыли в среднем составляет 65–95 % (ГОСТ 8002–62). При этом в пыли с мелкими частицами содержание кремния меньше, а глинозема больше, с крупными – наоборот.

Своеобразный состав имеют скальные грунты, обладающие наиболее высоким износостойкостью. Такие грунты характерны для горнорудных массивов, где ведется добыча полезных ископаемых открытым способом. Согласно паспорту прочности, в состав скальных грунтов входят базальты, кварциты, нефриты, имеющие прочность при одноосном сжатии $\sigma_{сж} = 320\text{--}550$ МПа. Прочность осадочных грунтов вскрытой породы несколько ниже. При буровзрывных работах частицы скального грунта витают в облаках пыли, которая постепенно оседает не только в рабочей зоне карьерных машин, но и по розе ветров далеко за её пределами. В таких условиях работают большегрузные автосамосвалы, бульдозеры, экскаваторы. Для снижения запыленности воздуха в местах погрузки вскрыши и угля, например, в Нерюнгринском разрезе, применяют систему пылеподавления, которые в прочем, не спасают от положения.

Установлено, что интенсивность изнашивания деталей двигателя машин, работающих на почвах с содержанием кварца, больше на 20–25 % возрастает в 1,5–1,6 раза. Известно

также, что не вся пыль, попавшая в цилиндры через воздушный тракт, остается в двигателе и участвует в износе его деталей. Определенная часть её (до 20 %) выбрасывается в атмосферу вместе с продуктами сгорания.

Для Западной Сибири характерной особенностью является соотношение в атмосферном воздухе кремния и алюминия. В воздухе летом соотношение составляет $Al = 0,17Si$, зимой – $Al = 0,33Si$.

Таким образом, поскольку запыленность атмосферного воздуха является продуктом техногенного воздействия человека на природу и носит объективный характер, для снижения влияния на процесс изнашивания машин необходимо разрабатывать способы конструктивного вмешательства в защиту их деталей от контакта с абразивными частицами загрязнения уже на стадии их проникновения в зону трения.

Список литературы

1. Григорьев М.А., Бабкин Г.А., Рогозин Ю.М. Тенденции развития систем смазки автомобильных двигателей // Обзорная информация: НИИАВТОПРОМ. – М. – 1979. – 86 с.
2. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Три уровня технического обслуживания системы защиты дизелей от абразивного износа // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 43–8. – С. 36–40.
3. Исаенко В.Д., Исаенко А.В., Исаенко П.В. Основы теории надёжности технических систем. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2018. – 208 с.

СОСТОЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Исаенко В.Д.¹, Исаенко П.В.¹, Исаенко А.В.¹,

*¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

Как и в настоящее время, в перспективе основные виды эксплуатационных материалов автотранспортных средств видимо будут изготавливаться из нефти. В зависимости от месторождения в нефти могут присутствовать продукты загрязнения различного происхождения, негативно отражающиеся на качестве нефтепродуктов и требующие больших затрат на их извлечение из товарных топлив и масел. Структура загрязнений, их количество, химический и гранулометрический состав изменяются в довольно широких пределах.

При этом основными источниками загрязнений являются атмосферная пыль и влага, которые поступают в топливо или масло при малых и больших «дыханиях» резервуаров, топливных и масляных баков, через заливные горловины при открытой заправке.

Обычно резервуары для хранения нефтепродуктов связаны с атмосферой. При этом под влиянием атмосферных явлений температуры жидкости и воздушной полости резервуара может непрерывно меняться. В течении суток температура воздуха в воздушной полости резервуара может отличаться от температуры наружного воздуха на 30–40 °С, обусловленная периодическое малое «дыхание» резервуара. Большие «дыхания» происходит при опорожнении и наполнении резерву. При «дыханиях» резервуаров и высокой запыленности воздуха в них поступают десятки килограммов пыли [1].

Износные загрязнения попадают в нефтепродукты вследствие механического износа перекачивающего оборудования, агрегатов топливных, смазочных и гидравлических систем.

Значительное количество загрязнений возникает в нефтепродуктах вследствие их окисления. Термическое разложение нефтепродуктов (в основном, масел) возможно вследствие местного перегрева и зависит главным образом, от углеводородного состава. На интенсивность разложения масел основное влияние оказывает температура, а также присутствие цветных металлов.

При длительном хранении при положительных температурах в нефтепродуктах могут развиваться колонии микроорганизмов, водорослей и грибов [2].

Вода в нефтепродуктах может находиться в растворенном состоянии, в виде эмульсии, в кристаллической форме при охлаждении, а также в виде отстоя (подтоварная вода). Растворенность воды зависит от температуры, влажности воздуха и давления. Повышение этих параметров приводит к увеличению концентрации воды в нефтепродуктах.

Исследованиями [2] установлено, что в присутствии гетероорганических соединений вода в топливе находится в виде капель размером 30–50 мкм; в эмульсиях, полученных диспергированием в центробежных насосах, размер капель не превышает 35 мкм, и они на 60 % состоят из капель размером 7–15 мкм.

Загрязнения нефтепродуктов представляют собой сложный комплекс веществ неорганического и органического происхождения.

Соотношение неорганической и органической частей загрязнений является одним из важных показателей, характеризующих кондицию нефтепродуктов, определяющей надежность техники, ресурс фильтров и т. д. Это соотношение зависит от углеводородного состава, склонности нефтепродукта к окислению и полимеризации. Существенное влияние на соотношение неорганической и органической частей загрязнений нефтепродукта оказывают условия его хранения и применения.

Отгружаемое с нефтеперерабатывающих предприятий дизельное топливо, соответствующее ГОСТу, может содержать в 1 мл до 15000 твердых частиц загрязнений размером от 3 до 50 мкм, основной количественной характеристикой которых является массовый состав, выражаемый в граммах на тонну топлива (г/т) или в процентах по массе. В дальнейшем во время перевозки топлива к местам потребления и хранения на нефтебазах и складах в топливе может накапливаться количество загрязнений, значительно превышающее установленную стандартом норму (табл. 1).

Таблица 1

Среднестатистические данные загрязненности дизельного топлива на нефтебазах

Марка по ГОСТ 305–82	Содержание загрязнений, % (масс.)	Число частиц загрязнений, шт./мл по интервалам размеров, мкм						
		1–3	3–6	6–10	10–15	15–20	20–30	30–50
Л	0,00254	14845	9030	4072	2138	720	328	200
З	0,00448	23800	14000	8320	3900	2111	1292	489
А	0,00641	40350	21480	11600	7800	3400	2245	820

При обычной схеме движения нефтепродуктов от производителя до потребителя (машин или механизма) наблюдается последовательное поэтапное возрастание загрязненности, если в системе снабжения отсутствует средства предварительной очистки.

Существует прямая зависимость загрязненности дизельного топлива в топливных баках транспортных машин от запыленности местности и сезона эксплуатации и может достигать 200–400 г загрязнений на 1 т топлива [1]. Для самосвалов при их работе в условиях особо высокой запыленности, содержание загрязнений в топливной системе приблизительно в 1,5 раза больше, чем у бортовых автомобилей, о чем свидетельствует табл. 2, 3.

Таблица 2

Загрязненность дизельных топлив в баках гусеничных тракторов летом

Место отбора пробы	Содержание загрязнений, % (масс.)	Число частиц загрязнений, шт./мл, по интервалам размеров, мкм						
		1–10	10–20	20–30	30–40	40–50	Более 50	
Средняя климатическая зона								
После заправки:								
с фильтром	0,0053	10080	3720	1040	248	56	16	10,2
без фильтра	11880	11880	4460	1860	460	92	42	11,6
Южная климатическая зона								
После заправки:								
с фильтром	0,0063	11180	3055	950	39	62	25	12
без фильтра	0,0212	17020	7920	1570	412	76	166	12,4

Таблица 3

Загрязненность дизельного топлива при транспортировании, хранении и заправке в средней климатической зоне летом

Место отбора пробы	Содержание загрязнений, % (масс.)	Число частиц загрязнений, шт./мл, по интервалам размеров, мкм						Коэффициент вариации, %
		1–10	10–20	20–30	30–40	40–50	Более 50	
Ж/д цистерна	0,002	4800	1560	700	110	–	–	11,2
Резервуар	0,003	6840	1540	628	100	2	–	12
Раздаточное устройство	0,0019	4660	1690	616	88	–	–	3
Автоцистерна:								
после налива	0,0041	9280	2420	830	188	8	–	8,6
после транспортирования	0,0049	12300	3080	670	262	20	–	12,8

Место отбора пробы	Содержание загрязнений, % (масс.)	Число частиц загрязнений, шт./мл, по интервалам размеров, мкм						Коэффициент вариации, %
		1–10	10–20	20–30	30–40	40–50	Более 50	
Из сливного устройства	0,006	12640	3670	1000	538	84	10	12,2
Резервуар склада	0,013	15600	5090	1600	528	296	68	10,2
Топливораздаточная колонка:								
с фильтром	0,003	5160	1760	850	110	–	–	18
без фильтра	0,009	10060	4030	1460	412	154	70	12,4

Требования к чистоте нефтепродуктов определяются не массовым содержанием загрязнений, а количеством частиц установленных размерных групп. На чистоту рабочей жидкости установлено 19 классов чистоты. Поэтому для каждой гидросистемы в зависимости от её назначения и выполняемых функций, а также чувствительности агрегатов к загрязнениям определяется свой класс чистоты.

Таким образом, в процессе отгрузки, транспортирования, хранения и раздачи дизельных топлив в их состав входят в огромных количествах механические примеси органического, неорганического, биологического и бактериального происхождения, а также вода. При эксплуатации автотранспортного средства различного назначения механические примеси накапливаются в топливных баках и, поступая в камеру сгорания, интенсифицируют износ деталей топливopодающей аппаратуры в первую очередь и цилиндропоршневой группы дизеля – во вторую. Это указывает на необходимость разработки дополнительных средств очистки воздуха и топлива на входе в дизель, особенно через топливный тракт.

Список литературы

1. Исаенко В.Д. Анализ надежности систем защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 22.03.83: утв. 28.06.83. – Ленинград, 1983. – 219 с.
2. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Анализ влияния факторов на интенсивность изнашивания механизмов // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 313–314.

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ТОМСКОЙ АГЛОМИРАЦИИ

*Кобылянский Р.А., аспирант,
Власов Ю.А., д.т.н., проф.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-48-77
e-mail: Yury2006@Yandex.ru*

В ноябре 2022 года была создана Ассоциация предприятий автомобильной отрасли Томской области (АПАОТО), основной целью которой была идея объединения позиций научно-практического, коммерческого и муниципального блоков управления для максимально полного изучения наиболее остро стоящих проблем автомобильной отрасли г. Томска и Томской области. Основной акцент Ассоциация поставила на поиск оптимальных решений транспортных проблем с учётом социально значимых критериев [1].

При полном взаимодействии Ассоциации с Томским государственным архитектурно-строительным университетом разработан социально ориентированный проект развития муниципального транспорта нашего региона, часть которого находится в стадии реализации.

На первом этапе реализации проекта по развитию муниципального транспорта были выявлены проблемы городского пассажирского транспорта и проведена их актуализация.

1. Установлено, что значительную долю пассажирских перевозок занимают частные предприятия при низкой доле муниципальных транспортных предприятий.

2. Наблюдается сложность интегрированных процессов между транспортными предприятиями г. Томска и Томской области.

3. Большое количество «серых перевозчиков» в свете фактического отсутствия контроля надзорными органами.

4. Аффилированность перевозчиков с аппаратом законодательного собрания и надзорных ведомств.

5. Высокий уровень аварийной опасности в ДТП с участием транспорта частных пассажирских перевозчиков.

6. Большой возраст машин подвижного состава частных перевозчиков, низкий процент обновления подвижного состава.

7. Отсутствие ремонтной базы предприятий-частных перевозчиков.

8. Наличие так называемых «привилегированных маршрутов».

9. Не соблюдение графика движения транспортных средств.

10. Недовольство населения качеством пассажирских перевозок.

Появлению на пассажирском транспорте города и области указанных проблем способствовал ряд причин [2], а именно:

- невозможность единовременного повышения тарифа на перевозку пассажиров в г. Томске на фактически требуемую величину дефицита;
- историческая невозможность изменения транспортно-дорожной сети г. Томска;
- высокая плотность городской застройки;
- отсутствие социальной направленности бизнеса в сфере пассажирских перевозок;
- отсутствие административного органа, реально осуществляющего надзор в сфере пассажирских перевозок;
- низкий уровень финансирования муниципального транспорта;

- отсутствие обратной связи между потребителем и организацией, обеспечивающей транспортное сообщение в структуре пассажирских перевозок г. Томска;
- несовершенство системы критериев качества пассажирских перевозок и др.

Для решения существующих проблем пассажирских перевозок в Томской агломерации был изучен опыт программы реформирования муниципального транспорта в г. Новокузнецк.

По ряду исследуемых критериев г. Новокузнецк сопоставим г. Томску, а именно по численности населения, в том числе пенсионеров, взрослых, детей, студентов и школьников, которые регулярно пользуются общественным пассажирским транспортом. Учитывая, что площадь г. Новокузнецка больше площади г. Томска в 1,45 раза, а протяженность уличной дорожной сети длиннее в 1,6 раза, автотранспортникам Новокузнецка удалось сделать рентабельными перевозочный процесс без увеличения тарифов на перевозку пассажиров.

Исследуя опыт Новокузнецких автотранспортников, а также положительный опыт ряда регионов (г. Челябинск, г. Миас, г. Казань и др.) и аналитическую работу ООО «Строй Инвест Проект» [3] пришло понимание перспективы развития муниципального транспорта в г. Томске и Томской области.

Во-первых, следует рассмотреть сценарии развития муниципальной и межмуниципальной маршрутной сети Томской городской агломерации. Наиболее оптимальный сценарий предусматривает разделение маршрутов в соответствии с их назначениями по группам:

- магистральные маршруты – создают основной транспортный каркас Томской городской агломерации;
- сквозные маршруты – создают основной транспортный каркас в пределах одного муниципального образования (город, район);
- подвозные маршруты – являются транспортом «последней мили».

Такой сценарий обосновывается: исторически сложившейся структурой территориальных делений районов г. Томска; направленностью стратегического развития Томской агломерации – «Супервосток»; территориальным развитием города-спутника Северска; возможностью дополнительного финансирования из Федерального центра и иных фондов и программ; возможностью обновления подвижного состава муниципальных транспортных предприятий; созданием конкурентной среды в сфере пассажирских перевозок; созданием органа контролирующего и фиксирующего работу муниципального транспорта; созданием единых центров по сертификации пассажирских перевозок и организации дорожного движения.

Во-вторых, следует осуществить ряд мероприятий, связанных с реформированием муниципального транспорта.

1. Провести экспертную оценку основных производственных фондов исторически сложившихся муниципальных транспортных предприятий.
2. Создать единое управление с единой диспетчерской службой всех муниципальных транспортных предприятий, осуществляющих пассажирские перевозки.
3. Создать базу частных перевозчиков, соответствующих всем условиям правового регулирования пассажирских перевозок.
4. Формировать комфортную среду для привлечения инвестиций всех видов.
6. Создать равную конкурентную среду для всех участников пассажирских перевозок.
7. Обновить подвижной состав с учетом потребностей малоподвижных групп населения.

Реализация проекта по развитию муниципального транспорта является достаточно сложной задачей, где основными трудностями является недостаточное финансирование, отсутствием достоверной информации о перевозочных процессах, саботирование перевозок «частниками», отсутствием единого понимания дальнейшего развития транспортной страте-

гии региона. Однако желание и настойчивость специалистов-транспортников в развитии Томской агломерации позволит получить положительный результат.

Список литературы

1. АПАОТО: Ассоциация предприятий автомобильной отрасли Томской области: официальный сайт. – Томск, 2023. – URL: <https://apaoto.ru> (дата обращения 12.11.2024).
2. Доклад о реализации транспортной стратегии российской федерации на период до 2030 года. – URL: https://www.souztransrus.ru/news_materials/2018/180719/itog_2017.pdf (дата обращения 14.11.2024).
3. НИР по разработке документов транспортного планирования Томской области. Этап 3 (заключительный) / рук. Е.В. Литвин – Москва: [б. и.], 2023. – 67 с.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

*Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

С точки зрения повышения долговечности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) основной функцией масел является образование и сохранение устойчивой и смазочной пленки на поверхности сопряженных пар трения, предотвращающей абразивное их изнашивание. Другой, не менее важной функцией моторных масел, является их способность выносить из зоны трения деталей продукты загрязнения и износа, поддерживая её температурный режим независимо от условий эксплуатации. По своему происхождению масла подразделяют на минеральные и синтетические. Смешивать моторные масла различного происхождения при заправках двигателей категорически запрещается в связи с несовместимостью их присадок. Тем не менее, многие водители по причине некомпетентности не выполняют этих требований. Это приводит к образованию мазеобразных конгломератов с продуктами загрязнения и износа, к тампонированию масляных каналов, забиванию пор масляных фильтров и, как следствие, масляному голоданию трущихся поверхностей деталей и повышенному их изнашиванию.

В процессе эксплуатации автотранспортных средств эти показатели выходят за предельные нормы, особенно в части загрязнения, которые в работающем двигателе идет непрерывно. Все загрязнения, содержащиеся в работающем масле, делятся на органические и неорганические, носящие общее понятие «механических примесей». Наибольшую опасность для ДВС оказывает неорганическая составляющая примесей. В её состав входят частицы атмосферной пыли, зольная часть отработавшей присадки, технологическая грязь, а также продукты износа деталей. Именно неорганическая, получившая название «негорючая», часть мехпримесей оказывает влияние на изнашивания трущихся пар [1].

Анализ дисперсионного состава негорючих примесей в моторном масле дизелей автомобилей и тракторов свидетельствует о присутствии в нем механических частиц от 0 до 100 мкм и более в различных количествах на 1 г масла.

Результат исследования характера изменения негорючих загрязняющих примесей в работающем масле показатели [2], что определяется их содержание не зависимо от продолжительности работы исправных дизелей после проведения технического обслуживания, включающего смену моторного масла и масляных фильтров. И во всех случаях концентрации НП находятся в пределах 0–0,1 % при двигательной вероятности 85–90 %. В отдельных 5–10 % случаях их концентрация достигает 0,4–0,5 %. Нарушение работоспособности систем очистки масла приводит к увлечению негорючих примесей.

Для определения предельной величины НП была исследована закономерность их содержания в масле исправных и неисправных систем очистки масла (СОМ) ЯМЗ-238 и КамАЗ-740 [1]. За предельное содержание примесей принималось точка пересечения кривых распределения. Оказалось, что такая точка соответствует НП = 0,1 % при математическом ожидании 0,035 % (рис. 1).

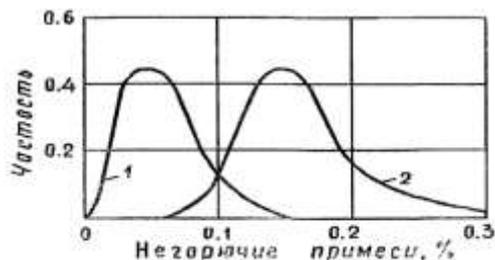


Рис. 1. Закономерность содержания негорючих примесей в масле:
1 – исправные системы; 2 – неисправные системы

Основной составляющей некоторых примесей является кремний (Si), как элемент-индикатор загрязнения масла атмосферно-дорожной пылью (рис. 2).

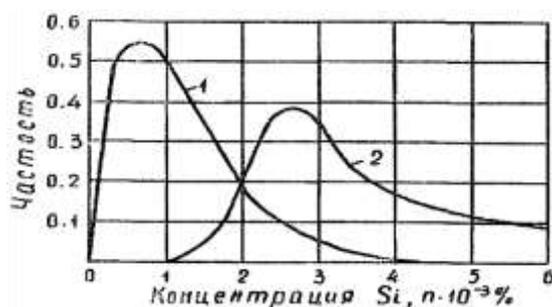


Рис. 2. График случайного распределения некоторых примесей:
1 – исправные системы; 2 – неисправные системы

Очевидно, система очистки масла даже при технически исправном состоянии не всегда способна обеспечить низкое содержание некоторых примесей в масле, если неработоспособна система очистки воздуха дизелей.

Между содержанием в картерном масле некоторых примесей и железа прослеживается наличие связи. Однако связь эта неоднозначна. При изменении НП от 0 до 0,1 % корреляция слабовыраженная. И лишь при увеличении содержания примесей проявляется явная тенденция к прямолинейной зависимости железа, как элемента-индикатора износа, от цилиндропоршневой группы дизеля, от некоторых примесей.

При тесноте корреляционной связи, равной 0,87, зависимость $Fe = f(\text{НП})$ имеет вид $Fe = 5,25 \text{ НП} + 0,65$. Отсюда следует, что в идеальном случае, тогда СОМ безупречно выполняет свои служебные функции (НП = 0), в картерном масле железосодержащих деталей, не зависящих от частиц абразивного или другого вида изнашивания, а также элементы железа изначально присутствующие в свежем масле.

Нарушение работоспособности СОМ приводит к двукратному увеличению содержания НП при полутора кратном увеличении железа. Это говорит о том, что в состав НП входят частицы загрязнения, имеющие размер, соизмеримый с толщиной масляной пленки, которые циркулируют по системе смазки и не влияют на абразивное изнашивание деталей.

Результат выполненных исследований [2] аргументировано доказывают зависимость интенсивности изнашивания дизелей от некоторых примесей. Так, при их изменении в пределах 0,08–0,155 % средней износ верхних компрессионных колец дизелей ЯМЗ составляет 0,0066–0,20 мкм/10000 км пути; шейки коленчатого вала – 0,008–0,014 мкм/10000 км; цилиндров – 0,03–0,078 мкм/10000 км. С ростом некоторых примесей до 0,215 % износ перечисленных деталей соответственно возрастает до 0,463; 0,058; и 0,184 мкм/10000 км, т. е. в 2–4,5 раза.

Конструктивные особенности дизелей таковы, что все процессы, протекающие в них при работе, отражаются на состоянии и поэлементном составе моторного масла и отложений на фильтрах его очистки. Способность масла нести в себе информацию позволяет оценить эффективность штатных систем защитить дизели от абразивного изнашивания (СЗДАИ), дает возможность наметить ресурс дизеля.

В таблице представлены результаты исследования надежности дизелей, отличающихся конструкцией СЗДАИ, установленных на работающих в угольных карьерах Кузбасса. В таблицу не вошли пробы масла, в которых содержание кремния достигло свыше 83 г/т. А таких проб в дизеле 9-26ДТ составило 17,5 %. В дизелях «Детройт» пробы с таким содержанием кремния отсутствовали.

Содержание продуктов загрязнения и износа в картерном масле дизелей карьерных самосвалов БелАЗ-75214 и БелАЗ-7530

Числовые характеристики	Дизели 9-26ДТ				Дизели «Детройт»			
	Si	Fe	Cr	Al	Si	Fe	Cr	Al
Математическое ожидание	28,55	5,72	0,298	6,13	0,787	1,48	0,284	0,441
Дисперсия (г/м) ²	95,28	31,42	0,062	22,31	0,543	2,18	0,056	0,163
Среднеквадратическое отклонение	9,76	5,69	0,249	4,12	0,737	1,48	0,236	0,404
Диагностический норматив	3,077	16,93	0,796	15,58	2,261	4,24	0,756	1,249
Коэффициент вариации	0,97	0,97	0,84	0,77	0,94	0,93	0,83	0,92

Результаты исследований свидетельствуют о большей эффективности систем защиты дизелей от абразивного изнашивания ДВС фирмы «Детройт», обеспечивающие содержание кремния в картерном масле, продуктов загрязнения и износа в десятки раз меньше по сравнению с отечественными дизелями. Экспериментальные исследования указывают на необходимость совершенствования конструкции систем защиты отечественных дизелей от абразивного изнашивания.

Список литературы

1. Исаенко В.Д., Исаенко А.В., Исаенко П.В. Еще раз о перемешивании моторных масел дизелей // Журнал передовых исследований в области естествознания. – 2021. – № 12. – С. 45–54.
2. Исаенко В.Д., Рычков С.Н. Повышение ресурса двигателей карьерных автомобилей-самосвалов силами автотранспортного предприятия // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 3. – С. 23–24.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

В основе работы средств очистки жидких нефтепродуктов, применяющих в автомобилестроении, заложен способ задержания продуктов загрязнения в пористых фильтрационных материалах или способ их осаждения в силовых (гравитационных) полях. Для очистки дизельных топлив и масел путем фильтрации существует классификация фильтров.

За основу классификации фильтров приняты основные признаки, различающие фильтры по их назначению, типу, расположению в топливной системе и тонкости очистки топлива.

Так, для заправки авиационной, автотракторной техники, строительно-дорожные и сельскохозяйственных машин применяют стационарные и передвижные средства, оборудованные заправочными фильтрами с производительностью, соответствующей производительности заправочных средств [1].

Системы топливоподачи и смазки двигателей и компрессоров оснащаются фильтрами, обеспечивающими защиту основных трущихся деталей от абразивного изнашивания (цилиндры, поршни, подшипники и т. д.). Основной их задачей является задержка частиц загрязнений, размер которых соизмерим или превышает зазоры или превышает зазоры в трущихся деталях.

Гидравлические системы различного назначения оснащаются фильтрами, обеспечивающими защиту основных рабочих и управляющих узлов от износа и аварийного выхода из строя (насосы, золотники, клапаны и т. д.).

По месту установки фильтры могут быть напорными, всасывающими и сливными. Напорные фильтры устанавливаются на линии подачи нефтепродуктов за насосом. Всасывающие фильтры устанавливаются до насосов во всасывающей магистрали. В связи с этим они должны иметь малое гидравлическое сопротивление. Сливные фильтры обычно устанавливаются на линиях слива в накопительную емкость (бак или резервуар).

По тонкости фильтрации все фильтры условно можно разделить на фильтры предварительной, грубой, тонкой и прецизионной (сверхтонкой) очистки. К фильтрам предварительной очистки можно отнести все нефтескладские и заправочные фильтры, если при дальнейшей эксплуатации нефтепродукта происходит его более тонкая очистка. Фильтры грубой и тонкой очистки устанавливаются в системах, обеспечивая двухступенчатую очистку. Фильтры прецизионной очистки, как правило, выполняют функции защиты наиболее ответственных и дорожных узлов, работающих с очень малыми зазорами (плунжерные пары, золотники, клапаны и т. д.).

Конструктивно любой фильтр, предназначен для товарных нефтепродуктов, используемых в народном хозяйстве, состоит из корпуса и сменных фильтроэлементов или различных конструкций, установленных в нем. По конструкции фильтроэлементы можно условно разделить на щелевые, поверхностные и объемные. Эта классификация отражает основной конструктивный признак фильтроэлемента по размещению фильтроматериала.

Необходимо заметить, что фильтроэлементы щелевого типа редко применяются для очистки нефтепродуктов, т. к. не обеспечивают необходимого качества очистки при допустимом начальном гидравлическом сопротивлении. Обзор работ в области фильтрации нефтепродуктов показывает, что главным направлением является исследование и разработка фильтров с применением целлюлозных пористых материалов (бумаг и картонов). В области «объемной» фильтрации необходима разработка конструкций фильтроэлементов, имеющих повышенный ресурс за счет более полного использования объема фильтра.

Реализация принципов «поверхностной» или «объемной» фильтрации возможно с использованием разнообразных фильтрационных материалов. В целом материалы для комплексной очистки топлива от механических примесей и свободной воды должны удовлетворять следующим требованиям: иметь высокую механическую прочность, в том числе при действии ударных, вибрационных и тепловых нагрузок; обладать стойкостью к очищаемому продукту и к содержащейся в нем воде во всем диапазоне рабочих температур независимо от продолжительности контактирования; не оказывать отрицательного влияния на физико-механические свойства очищаемого продукта и не загрязнять его частицами, вымываемыми при эксплуатации; иметь возможно малое гидравлическое сопротивление при высокой удельной пропускной способности; обеспечивать необходимые фильтрующие, водоотделяющие показатели при высоком ресурсе работы, не снижая этих показателей в процессе эксплуатации; обладать способностью к многократной регенерации или при однократном использовании полностью утилизироваться, не загрязняя при этом окружающую среду; обладать удовлетворительными экономическими показателями, быть технологичными в производстве; иметь хорошие конструктивные качества – легко подвергаться гофрированию, склейке, герметизации и другим операциям, необходимым при изготовлении фильтроэлементов.

Удовлетворение всем указанным требованиям представляется возможным, так как между различными показателями материалов часто наблюдается обратная зависимость. Поэтому при выборе материалов стараются обеспечить выполнение наиболее важных требований, предъявляемых назначением и конструктивным особенностями фильтров.

Фильтры предназначены для очистки нефтепродуктов в соответствии с обоснованными требованиями по качеству очистки. При этом они должны иметь максимальный ресурс в эксплуатации, определяемый наработкой фильтроэлементов до их замены.

В настоящее время качество очистки нефтепродуктов принято оценивать рядом показателей. К таковым относятся тонкость фильтрации, характеризующаяся размером частиц, пропускаемых фильтром, а также коэффициенты полноты фильтрации, эффективности водоотделения, эффективности очистки [2].

Опыт эксплуатации автомобилей, строительного-дорожного, карьерных машин и другой мобильной техники показывает, что загрязненность моторных топлив оказывает неодинаковое влияние на различные технико-экономические и экологические показатели дизеля. Так, при увеличении индикаторного расхода топлива всего на 5 %, тогда как пуск двигателя при таком зазоре практически не возможен даже при максимальной частоте вращения вала пускового устройства. Исходя из технико-экономических соображений, предельный зазор не должен превышать 6 мкм, вследствие износа плунжерных пар насоса распределительного типа, а для насосов рядного типа – около 15 мкм.

Предположительно, для обеспечения безотказной работы сопряженных деталей из жидкости, проходящей через зазор в прецизионной паре, следует удалять частицы загрязнений размером более половины величины этого зазора [3]. Поэтому на практике принимают, что если в топливе отсутствуют частицы такого размера, то оно обладает удовлетворительной чистотой и может использоваться в дизелях. Исходя из сказанного, номинальная тонкость очистки моторного топлива при заправке дизельной техники не должна превышать 5 мкм, а абсолютная величина этого показателя – 10 мкм.

Таблица

Относительный срок службы плунжерной пары при различном качестве очистки дизельного топлива

Тонкость очистки, мкм	Относительный срок службы устройства
без очистки	1
24	1,3
19	1,8
13	3,5
5	8,5

Приведенные данные свидетельствует о том, что жесткость требований к качеству очистки топлива позволяет увеличить в 2,5–4 раза продолжительность работы плунжерных пар при тонкости очистки топлива 2–5 мкм [4].

Список литературы

1. Исаенко А.В. Повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04: защищена 24.02.06: утв. 18.06.06. – Томск, 2006. – 177 с.
2. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Анализ влияния факторов на интенсивность изнашивания механизмов // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 313–314.
3. Исаенко, П.В., Исаенко В.Д., Исаенко А.В. Экспериментальная оценка эффективности масляного пылеуловителя для топливных резервуаров // Сб. трудов «Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве, растениеводстве и экономике». – Томск: Изд-во ТСХИ, 2010. – № 12. – С. 313–317.
4. Исаенко В.Д. Анализ надежности систем защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 22.03.83: утв. 28.06.83. – Ленинград, 1983. – 219 с.

ТИПЫ ФИЛЬТРОВ И СПОСОБЫ ИХ ВКЛЮЧЕНИЯ В ТОПЛИВНУЮ СИСТЕМУ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

В топливную систему дизеля обычно входят топливный бак, фильтр грубой очистки, топливопровод низкого давления, топливоподкачивающий насос низкого давления, фильтр тонкой очистки, топливный насос высокого давления, топливопроводы высокого давления, форсунки, сливные топливопроводы, редукционный и пропускной клапана [1].

В системах питания совместимых отечественных и зарубежных дизелей существует многоступенчатая очистка топлива: в топливном баке – предварительная, в фильтрах грубой очистки – грубая, в фильтрах тонкой очистки – окончательная. При этом наиболее распространена схема расположения агрегатов очистки топлива, у которой фильтр грубой очистки установлен до топливоподкачивающего насоса низкого давления, а фильтр тонкой очистки установлен после насоса. Несмотря на то, что в основе способов очистки нефтепродуктов в двигателях лежат самые различные физические закономерности, способы могут быть разделены по принципу действия на две группы в пористых средах и в силовых полях.

Фильтры, устанавливаемые в горловинах топливных баков, относятся к щелевым и выполняются в виде различных вставок (стаканов), изготовленных из металлических сеток, улавливающих лишь крупнодисперсные загрязнения (порядок 50 м/км и выше). Внутри бака устанавливается фильтр грубой очистки топлива, а пробка бака имеет двойной клапан для впуска и выпуска воздуха, не имеющий воздушного фильтра. Поэтому при малом дыхании в топливный бак свободно проникает атмосферная пыль различного гранулометрического состава при работе автомобилей в запыленных условиях.

Отсюда следует, что для снижения абразивного изнашивания топливоподающей аппаратуры дизелей требуется разработка устройств, существенных снижающих или исключающих попадания загрязнений в топливные баки.

Старейшим и наиболее распространенным материалом для фильтрования нефтепродуктов автотранспортных двигателей является металлическая сетка, которая применяется в современных фильтрах предварительной и грубой очистки. Иногда конструкция фильтра позволяет устанавливать в корпусе фильтрующий элемент либо из сетки (для грубой очистки), либо из бумаги (для тонкой). Материалом для фильтроэлементом грубой очистки топлива служит и различный текстиль, например, ворсистый хлопковый шнур [2].

Сравнительный анализ групп фильтроэлементов выявил их преимущества, работающих по принципу поверхностной и объемной фильтрации. По качеству очистки (тонкости фильтрации) они равноценны. В то же время ресурс фильтроэлементов поверхностного типа значительно превышает ресурс объемных фильтроэлементов, выполненных из одинакового пористого материала. Поэтому для очистки топлива, масла и воздуха в дизелях предпочтение отдают именно поверхностным фильтроэлементам с различной укладкой фильтрующей шторы (рисунок).

Все эти схемы позволяют увеличить поверхность фильтрации при сохранении величины внутреннего сопротивления за счет гофрирования тонкослойного материала (бумага, картон, ткань и т. п.)

Повышение ресурса фильтроэлементов объемного типа для тонкой очистки нефтепродуктов возможно путем разработки принципиально новых конструкций фильтров, обеспечивающих равномерное заполнения объема пористого тела загрязнениями в процессе их работы.

Одним из резервов повышения ресурса фильтроэлементом поверхностного типа является двухступенчатая фильтрация жидкости. При сохранении рабочего объема фильтроэлемента применение двухшторной конструкции взамен одношторной позволяет увеличить его ресурс при правильном подборе материала с разной пористостью. Это достигается перераспределением загрязнений между ступенями, что уменьшает общий рост гидравлического сопротивления фильтра.

Создание специальных фильтрационных материалов с неоднородной пористостью, изменяющейся по закону, обеспечивающему их равномерную загрузку в процессе работы фильтра, представляет определенные трудности технологического характера. Более просто неоднородный пористый объем можно получить путем формования известных деформируемых (сжимаемых) пористых материалов. Как уже отмечалось, к таким материалам можно отнести эластичные пенополиуретаны (поролон), стекловолоконистые материалы, шерсть, войлок, текстиль и другие.

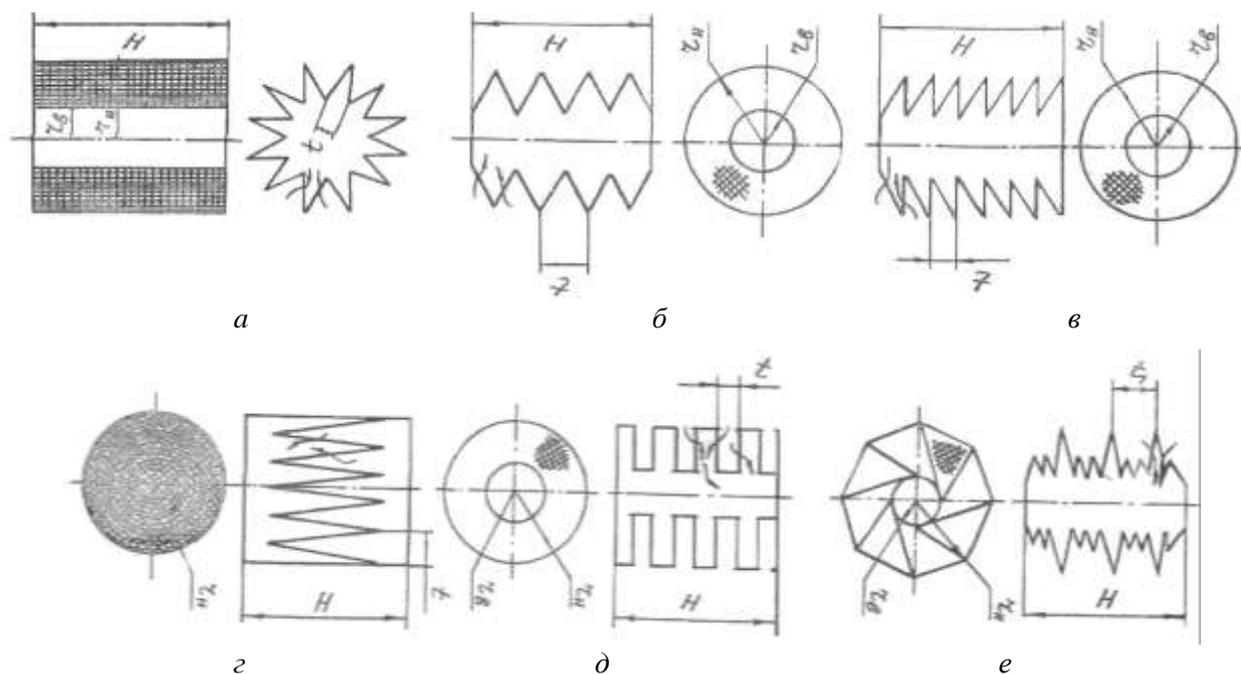


Рис. Типы фильтров с различными схемами укладки фильтрующих штор:

а – звездообразная; б – складчатая; в – винтовая; г – спирально-складчатая; д – пакетированная; е – спиральная

Под формованием понимается сжатие материала в специальной форме, обеспечивающей образование объема с неоднородной пористостью за счет степени сжатия, увеличивающейся в направлении потока [3].

Наиболее простым представляется формование, осуществляемое в рамках традиционной цилиндрического объемного фильтроэлемента, набранного из пористых сжимаемых дисков, каждый из которых обжат с помощью перфорированных конических тарелок.

Сущность работы предлагаемой конструкции фильтроэлемента заключается в том, что при любом направлении очищаемого топлива или масла оно проходит последовательно объемы с уменьшающейся пористостью. При этом из-за неравномерного сжатия пористых дисков очищаемое топливо или масло вначале движется преимущественно по линиям тока с меньшим гидравлическим сопротивлением, т. е. в областях с большей пористостью. Затем, по мере забивки порового пространства загрязнениями, происходит перераспределение потоков в области с более плотной поровой структурой и их постепенное заполнение. Таким образом обеспечивается равномерная загрузка всего пористого объема.

Наравне с одноступенчатыми фильтрами очистки топлив и масел распространены комбинированные фильтры с элементами различной тонкости фильтрации, такими, как ком-

бинированный фильтр двигателя фирмы Daimler-Benz, состоящий из двух параллельных включенных фильтрующих элементов сетчатого капронового, задерживающего частицы размером 30–60 мкм и бумажного типа Mikronik. Основная часть масла после грубой очистки поступает в масляную магистраль, а часть его, прошедшая через фильтр тонкой очистки сливается в поддон. В дизелях Raba Man масляный полнопоточный фильтр состоит из последовательного включенных сетчатого фильтра грубой очистки и бумажного фильтроэлемента тонкой очистки [4].

Список литературы

1. Исаенко А.В. Повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин: дис. канд. техн. наук: 05.05.04: защищена 24.02.06: утв. 18.06.06. – Томск, 2006. – 177 с.
2. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Анализ влияния факторов на интенсивность изнашивания механизмов // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 313–314.
3. Исаенко, П.В., Исаенко В.Д., Исаенко А.В. Экспериментальная оценка эффективности масляного пылеуловителя для топливных резервуаров // Сб. трудов «Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве, растениеводстве и экономике». – Томск: Изд-во ТСХИ, 2010. – № 12. – С. 313–317.
4. Исаенко В.Д. Анализ надежности систем защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 22.03.83: утв. 28.06.83. – Ленинград, 1983. – 219 с.

ОЧИСТКА ТОПЛИВА И МАСЛА В СИЛОВЫХ ПОЛЯХ

*Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
механико-технологический факультет, к.т.н., доцент,
e-mail: isaenko_pv@mail.ru*

Наиболее простым методом очистки нефтепродуктов, не требующим сложного оборудования и затрат энергии, является отстаивание в гравитационном поле. Недостаток способа при его применении в стационарных условиях – длительность процесса отстаивания, а при его использовании на автотранспортных средствах – снижение эффективности очистки вследствие перемешивания топлива и его повторного загрязнения при перемещении машины по рабочей зоне. Во избежание этого в топливных системах устанавливают специальные устройства – гравитационные отстойники, а в топливных баках – специальные зоны для сбора отстоя [1].

При очистке нефтепродуктов в центробежном поле используются центробежные очистители двух типов: вращающиеся, которых поток жидкости движется вместе с ротором (центрифуги), и неподвижные, в которых вращаются лишь поток (гидроциклоны).

Преимущество гидроциклонов заключается в простоте конструкции, отсутствие движущихся узлов и простоте обслуживания в процессе эксплуатации [2]. К недостаткам следует отнести значительное гидравлическое сопротивление при изменении направлении потока жидкости на 180° и необходимость создания на входе в гидроциклон значительного давления. Поэтому гидроциклоны не применяются в топливных системах дизелей мобильных машин.

Центрифуги имеют разнообразные конструкции [3] и в автотранспортных двигателях применяется для очистки масла.

Они различаются по частоте вращения ротора (низкооборотные от 5000 до 10000 об/мин, высокооборотные от 10000 до 20000 об/мин), а также по его конструкции (толстослойные и тонкослойные). Устройство привода для вращения центрифуг имеет существенное значение при их эксплуатации, которое может быть пневматическим, газовым (от отработавших газов), электрическим, механическим и гидравлическим (активным или реактивным).

Масляные центрифуги дизелей ЯМЗ и КамАЗ, с реактивным и активно-реактивным гидравлическим приводом представлены на рис. 1 и 2.

Отличительной особенностью и основным недостатком центрифуги с реактивным приводом является значительное окисление моторного масла дизелей, когда мелкоаэрозольное горячее масло под давлением вытекает из сопел, соприкасаясь с кислородом воздуха [4]. Более того, при достаточно простой конструкции они удаляют из масла частицы размером не менее 30 мкм, и имеют ряд недостатков, о чем будет сказано ниже. Центрифуги с активным приводом окисляют масло в значительной меньшей степени, поскольку та часть масла, которая подается насосом в роторную полость, приводя во вращение ротор, натекает на внутреннюю стенку колпака в виде сплошной струи. Они удаляют из масла частицы загрязнения размером менее 5 мкм. И в этом одно из их преимуществ.

В результате выполненного анализа описаны теоретически обоснованные способы конструктивного усовершенствования топливной и масляной систем дизельного двигателя внутреннего сгорания, изложены результаты износа сопряженных деталей топливной аппаратуры автотранспортных дизельных двигателей, дана сравнительная оценка надежности их защиты от абразивного изнашивания при использовании штатных и усовершенствованных средств очистки топлива и масла.

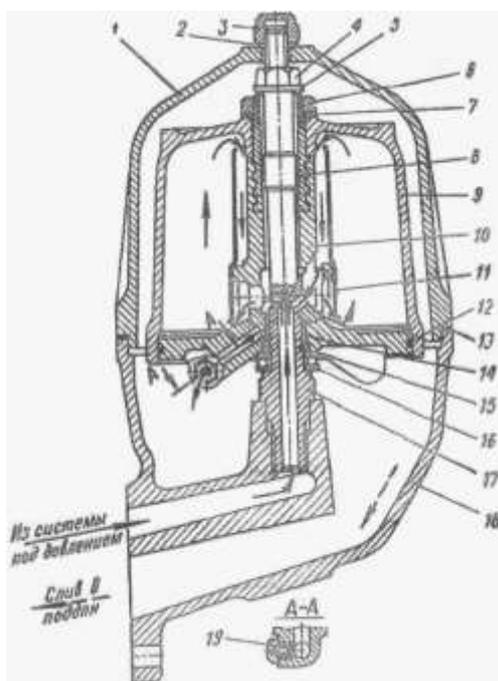


Рис. 1. Фильтр центробежной очистки масла дизелей ЯМЗ:

1 – колпак фильтра; 2, 7 – шайбы; 3 – колпачковая гайка; 4 – гайка крепления ротора; 5 – упорная шайба; 6 – гайка ротора; 8, 14 – втулки ротора; 10 – ротор; 11 – отражатель; 12 – уплотнительное кольцо; 13 – прокладка колпака; 15 – стопорное кольцо; 16 – подшипник; 17 – ось ротора; 18 – корпус фильтра; 19 – сопло ротора

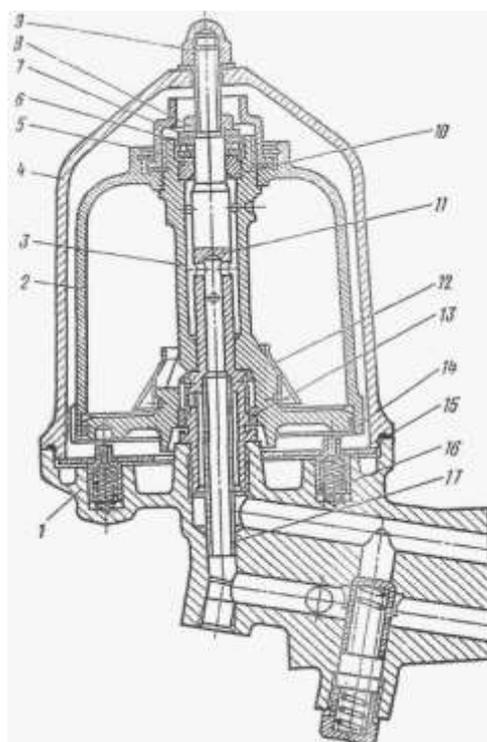


Рис. 2. Центробежный масляный фильтр дизелей КамАЗ:

1 – корпус; 2 – колпак ротора; 3 – ротор; 4 – колпак фильтра; 5 – гайка крепления колпака; 6 – упорный шарикоподшипник; 7 – упорная шайба; 8 – гайка крепления колпака фильтра; 9 – верхняя гайка крепления колпака фильтра; 10 – верхняя втулка ротора; 11 – ось ротора; 14 – палец стопора; 15 – пластина стопора; 16 – пружина стопора; 17 – трубка отвода масла

Список литературы

1. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Анализ влияния факторов на интенсивность изнашивания механизмов // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 313–314.
2. Исаенко, П.В., Исаенко В.Д., Исаенко А.В. Экспериментальная оценка эффективности масляного пылеуловителя для топливных резервуаров // Сб. трудов «Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве, растениеводстве и экономике». – Томск: Изд-во ТСХИ, 2010. – № 12. – С. 313–317.
3. Исаенко В.Д. Анализ надежности систем защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 22.03.83; утв. 28.06.83. – Ленинград, 1983. – 219 с.
4. Исаенко А.В. Повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04: защищена 24.02.06; утв. 18.06.06. – Томск, 2006. – 177 с.

ПРИБОР ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА

Алушкин Т.Е.¹, Зубрицкий А.В.¹, Спиринов Е.Н.², Полозова С.А.²

¹ФГБОУ ВО Томский государственный архитектурно-строительный университет,
e-mail: timofey.alushkin@gmail.com

²Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Согласно данным Департамента по социально-экономическому развитию села Томской области в 2024 году в сельскохозяйственных организациях имеется 1110 тракторов, 407 зерноуборочных и 63 кормоуборочных комбайнов. Более подробно структура парка сельскохозяйственных тракторов представлена на рис. 1.

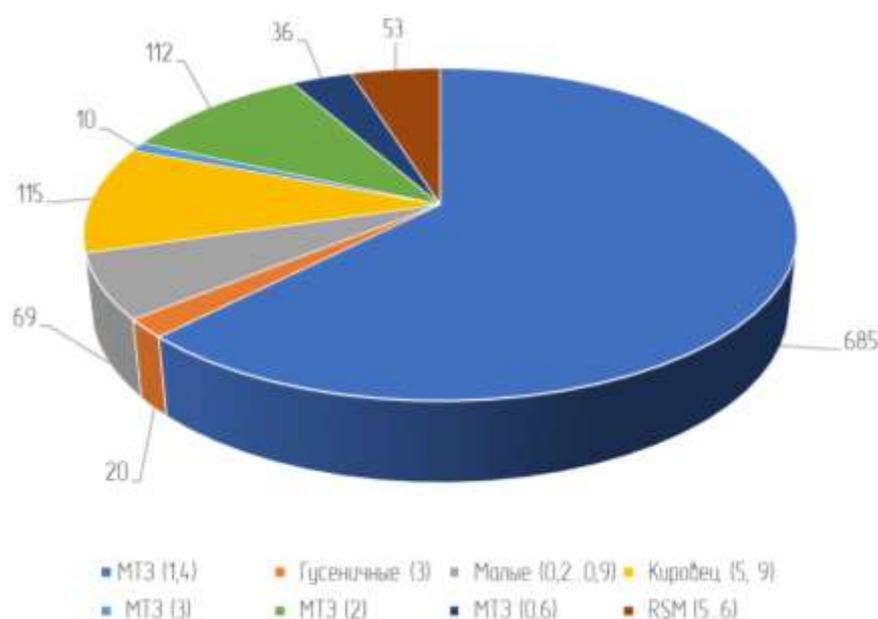


Рис. 1. Структура парка тракторов в сельскохозяйственных организациях Томской области

Имеющийся парк, согласно постановлению Правительства РФ № 1013 от 13.11.2013 (в редакции от 26.10.2020 г.) [1] должен ежегодно проходить процедуру технического осмотра органами Ростехнадзора.

Согласно указанному постановлению правительства, приборному контролю подлежат следующие системы самоходных технологических машин:

- тормозная система;
- рулевое управление;
- механизм поворота гусеничных машин;
- внешние световые приборы;
- стеклоочистители и стеклоомыватели;
- колеса, шины, гусеницы;
- двигатель и его системы.

Для реализации возможности инструментального контроля самоходных технологических машин при проведении технического осмотра сотрудниками кафедры агроинженерии Томского сельскохозяйственного института разработан прототип – прибор ГТН-01.01. Данный прибор позволяет оценивать пять параметров при диагностике технического состояния:

- суммарный люфт в рулевом управлении, 0...45 град;
- величина замедления при торможении, 0...8 м/с²;

- оптическая плотность отработавших газов, 0...100 % (m^{-1});
- температура моторного масла, 0...120 °С;
- уровень звука системы выпуска отработавших газов, 0...90 дБА.

Как правило сотрудниками Инспекции государственного технического надзора при проведении технического осмотра используют 4 прибора научно-производственной фирмы «Мета»: Дымомер МЕТА0-01МП, прибор оценки эффективности тормозной системы МЕТА Эффект, люфтомер МЕТА ИСЛ-М.01 и шумомер.

На рис. 2 представлена электрическая схема прибора ГТН-01.01.

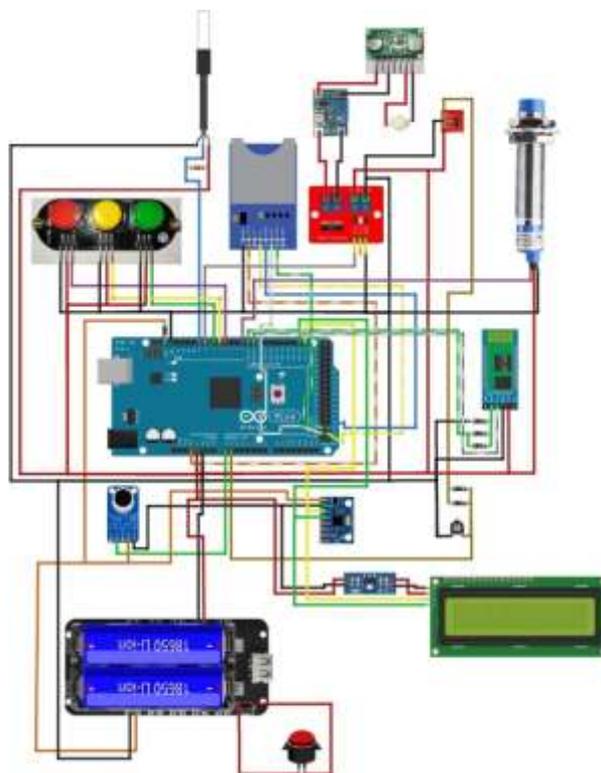


Рис. 2. Электрическая схема ГТН-01.01

Прибор разработан на основе программируемых микроконтроллеров Nano Arduino.

Список литературы

1. Постановление правительства № 1013 от 13.11.2013 (ред. от 26.10.2020 г.). [Электронный ресурс]: URL: Правила проведения технического осмотра самоходных машин и других видов техники.
2. Измеритель дымности отработанных газов. Модификации: МЕТА-01 МП 0.1 ЛТК К; МЕТА-01 МП 0.2 Руководство по эксплуатации М 006.000.00-03 РЭ. Методика поверки М 006.000.00 МП. 2017. – 48 с.
3. Приборы для проверки эффективности тормозных систем транспортного средства. Модификации: «ЭФФЕКТ-02.01», «ЭФФЕКТ-02». Руководство по эксплуатации М 016.000.00 РЭ. – 38 с.
4. Преобразователи измерительные угла поворота «ИСЛ-М.01». Руководство по эксплуатации М 036.000.00-03 РЭ. – 30 с.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

*Барков Ю.М., аспирант, Власов Ю.А., д.т.н., проф., Фукс В.Р., к.т.н., доц.
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-48-77
e-mail: Yury2006@Yandex.ru*

В настоящее время техническая диагностика автомобильного транспорта нередко базируется на методах, не позволяющих средствам диагностирования в полной мере определить работоспособность автомобилей, выявить ненадежные элементы и получить необходимый объем информации для управления процессом технического обслуживания. Усеченная, отсутствующая или дублируемая информация не позволяет принять конкретное решение, снижает эффективность диагностирования.

В целом средства диагностирования отечественного и зарубежного производства по ввиду их многообразия, классифицируются по достаточно большому количеству признаков [1, 2], основная часть которых сводится в четыре группы:

- использование;
- характер исполнения;
- совместимость с объектом диагностирования;
- требования к диагностированию.

На примере средств диагностирования автотранспортникам, для облегчения поиска и выбора технологического оборудования, была предложена классификация информации (табл. 1) в виде структурной модели (рис. 1) по принципу иерархической системы с кодовыми обозначениями.

Получение информации о техническом состоянии исследуемого объекта, при диагностировании автомобилей, неразрывно связано с техническими возможностями средств диагностирования. Повышение комплектности диагностического оборудования, как правило, повышает трудоемкость, усложняет алгоритм и процедуру диагностирования.

Новые методы диагностирования должны учитывать приспособленность методов к контролируемым машинам, условия их эксплуатации и информативность полученных результатов, соответствующих состоянию объекта диагностирования.

Разный уровень производства ставит задачу в обеспечении предприятий дешевыми, простыми в обслуживании и эксплуатации, многофункциональными средствами диагностирования, которые эффективно бы использовались в предприятиях с разным уровнем производств.

Направление развития портативных средств диагностирования с универсальными возможностями остается открытым и актуальным. Задачу такого направления можно решить, если использовать новые методы диагностики, новые принципы распознавания технического состояния автомобилей на базе микропроцессорной технологии. Для этого, при выборе средств диагностики, целесообразно использовать разработанную классификацию в виде формул, состоящих из сочетания кодов классификационных признаков. Например, диагностический прибор для оценки степени загрязненности работающего масла ИКМ-2 может иметь следующую формулу – А1В3С1D4Н1К1.5, т. е. специализированное автоматическое средство для диагностики машин аналогового исполнения индикаторного типа для оценки свойств состава масел.

Согласно вышеприведенным классификационным признакам информацию о технических возможностях приборов можно будет «зашить» в любой вид диагностического оборудования.

Коды классификационных признаков средств диагностирования

Код группы	Обозначение кода	Код группы	Обозначение кода
A	Классифицирующие признаки	G2	Общие
A1	Средства диагностирования машин	H	Приспособленность множеству объектов
B	Степень автоматизации измерений	H1	Специализированные
B1	Механизированные	H2	Универсальные
B2	Автоматизированные	I	Способ связи с объектами
B3	Автоматические	I1	С внешними измерительными преобразователями
C	Назначение	I2	С внешними и встроенными измерительными преобразователями
C1	Индикаторы, устройства и комплексы для измерения отдельных параметров	I3	Встроенные средства
C2	Специальная оснастка и инструмент	J	Состояние объекта
C3	Мощностные стенды (тормозные или другие)	J1	Использование без функционирования объекта
C4	Диагностические и прогнозирующие системы (машинотестеры)	J2	Использование при функционировании объекта
D	Характер конструкции	J3	Используемые при тестовых воздействиях на объект
D1	Механические, гидравлические, пневматические, комбинированные	K	Измеряемые величины
D2	Электромеханические	K1	Статические
D3	Электрические	K2	Динамические
D4	Электронные: аналоговые и цифровые	K1.1	Линейные, угловые размеры
D5	Электромагнитные	K1.2	Линейные, угловые перемещения
D6	Гидравлические, пневматические, инерционные	K1.3	Расход, подача жидкостей и газов
D7	Оригинальные электронные комплексы	K1.4	Плотность, вязкость, загрязненность жидкостей и газов
D8	Электронные комплексы на основе стандартной ЭВМ (ПК)	K1.5	Состав масел и газов
E	Возможности приема информации	K1.6	Температура деталей и жидкостей
E1	Одноканальные	K2.1	Параметры вращения, линейного движения и колебаний
E2	Многоканальные	K2.2	Интервалы времени, фазы движения
F	Исполнение	K2.3	Сила, момент вращения, мощность
F1	Переносные, портативные	K2.4	Давление жидкостей и газов
F2	Стационарные, передвижные	K2.5	Параметры электрического и электромагнитного поля
G	Степень охвата объекта	K2.6	Виброакустические параметры
G1	Локальные		

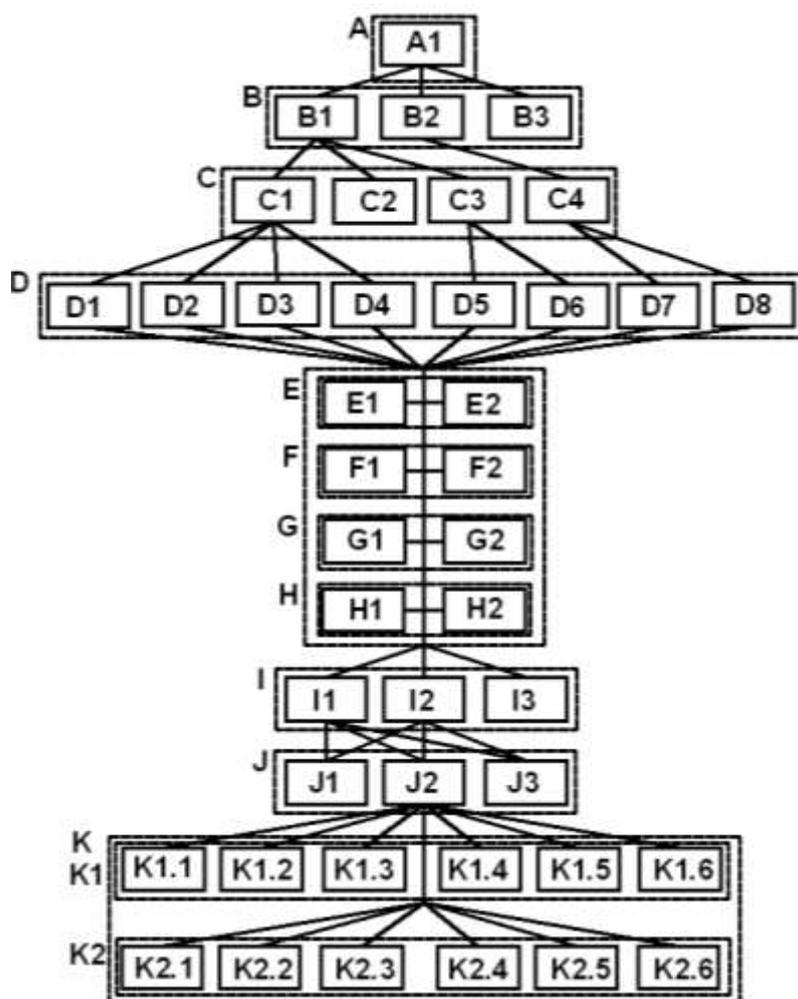


Рис. 1. Структурная модель классификационных признаков средств технического диагностирования

Для решения задачи автоматизированного выбора диагностического оборудования для автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания автомобилей, с точки зрения системного подхода к процессу диагностирования, необходимо максимально все существующие образцы оборудования внести в базу данных с учетом их кодовых обозначений. Это позволит в поисковике (например, в базах данных, выложенных в сети Интернет) при наборе формулы состоящей из кодовых обозначений произвести поиск и выбор оборудования с искомыми характеристиками.

Список литературы

1. Обзор российских производителей оборудования для автосервиса. 2024. – URL: <https://master-instrumentnn.ru/informacziya.html> (дата обращения: 07.11.2024).
2. Оборудование и технологии // Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинотракторного парка. ГОСНИТИ. – 2024. – URL: <http://www.gosniti.ru/products.html> (дата обращения: 07.11.2024).

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Зубрицкий А.В.¹, Федяев В.О.², Ахмадышин Д.С.³

*¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
старший преподаватель*

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, студент гр.3041/2

*³Томский государственный архитектурно-строительный университет,
магистрант гр. М23.22з/1
e-mail: avzubritskij@gmail.com*

В работе представлены результаты комплексного исследования моторных масел, предназначенных для использования в высоконагруженных дизельных двигателях карьерной техники. Исследование проводилось с целью оценки эффективности применения данных масел в условиях интенсивной эксплуатации и определения их влияния на работу двигателя. В ходе исследования были проведены испытания масел по трём ключевым параметрам: антифрикционным, противозадирным и противоизносным свойствам. Результаты испытаний позволили оценить способность масел снижать трение между деталями двигателя, предотвращать задиры и износ, а также обеспечивать надёжную защиту двигателя в условиях высоких нагрузок и температур.

Для проведения трибологического исследования в испытательный центр горюче-смазочных материалов (ИЦ ГСМ) ТГАСУ были переданы пять проб (табл. 1) свежих моторных масел с целью выбора наиболее оптимальных для применения в эксплуатации автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 130–220 тонн которые оснащены двигателями Cummins и MTU.

Таблица 1

Перечень проб поступивших на испытание

№ пробы	Производитель (марка)	Класс по SAE	Класс по API
1	Teboil Super HPD	15W-40	CI-4
2	Shell Rimula R4L	15W-40	CI-4
3	Petro-Canada HP Duron	15W-40	CI-4, CI-4+
4	Conoco Phillips Super HD II Multigrade	15W-40	CI-4
5	Valvoline Premium Blue 7800	15W-40	CI-4, CI-4+

Методика проведения исследования заключалась в проведении экспериментов на машине трения по схеме «вращающийся ролик – неподвижные колодки» с погружением в рабочую масляную камеру под избыточным давлением $P_{изб} = 0,005 \dots 0,2$ МПа. Для каждого эксперимента изготавливались новые колодки для пары трения. Ролик для пары трения вырезался из поршневого пальца БелАЗ-7555, выполненного из стали 15Х, а колодки были изготовлены из стали 45. Перед началом испытания по оценке противозадирных, антифрикционных и противоизносных свойств проводилась приработка образцов трения в смазочной среде до тех пор, пока характеристика по моменту трения не достигала стационарного режима.

При этом приработка образцов происходила при ступенчатой нагрузке, не превышающей $0,75 \Delta F_N$.

Режим противоизносных испытаний устанавливался по следующим параметрам:

- скорость скольжения при испытаниях $V = 3,95$ м/с;
- нормальная нагрузка на каждый образец $F_N = 713$ Н;
- длительность испытаний $T = 120$ минут

Испытания на противоизносность [3] были проведены при постоянной нагрузке на образцы. В процессе фиксируется масса пары трения в определённые моменты времени: во время приработки и через заданный промежуток пути.

В ходе антифрикционных и противозадирных испытаний образцы подвергались нагрузке от 0 до 1950Н. Нагрузка плавно увеличивалась до начала процесса «схватывания» деталей. Момент трения измерялся по перепаду, давления в полостях гидромотора, который обеспечивал вращение образцов трения ролика. Для измерения температуры в рабочей камере использовались термопары.

На основе полученных данных после проведения испытания были построены диаграммы. Анализ диаграммы, представленной на рис. 1 и характеризующей антифрикционные свойства через соотношение моментов трения, позволяет сделать вывод, что момент трения на всех испытуемых образцах масел находится в пределах минимального разброса с учетом погрешности методики испытания.

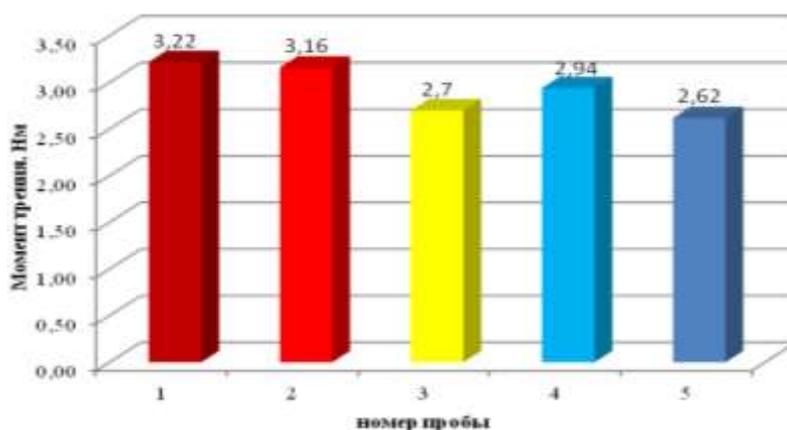


Рис. 1. Диаграмма соотношения моментов трения на устойчивом режиме

Вместе с тем оценка противоизносных свойств тех же проб масел (рис. 2) выявила существенную разницу между испытуемыми маслами. В частности, пробы масел № 1 и № 5 продемонстрировали, что их присутствие в смазочной среде повышает износостойкость образцов в 3–6 раз по сравнению с пробами № 2, № 3 и № 4.

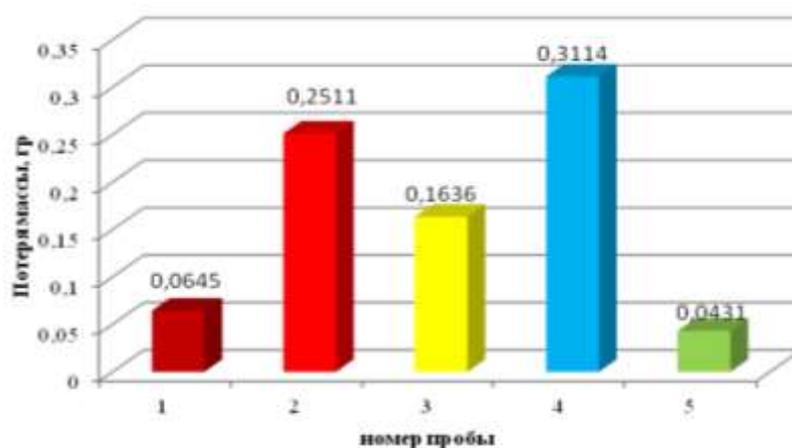


Рис. 2. Диаграмма соотношения износостойкости образцов

При изучении результатов тестирования на противозадирные свойства (рис. 3) было установлено, что предельная нагрузка до разрыва масляной плёнки и наступления схватывания и появления задиров в паре трения оказалась наиболее высокой у проб № 1 и № 5. Это свидетельствует о том, что данные пробы обладают наилучшими противозадирными свойствами.

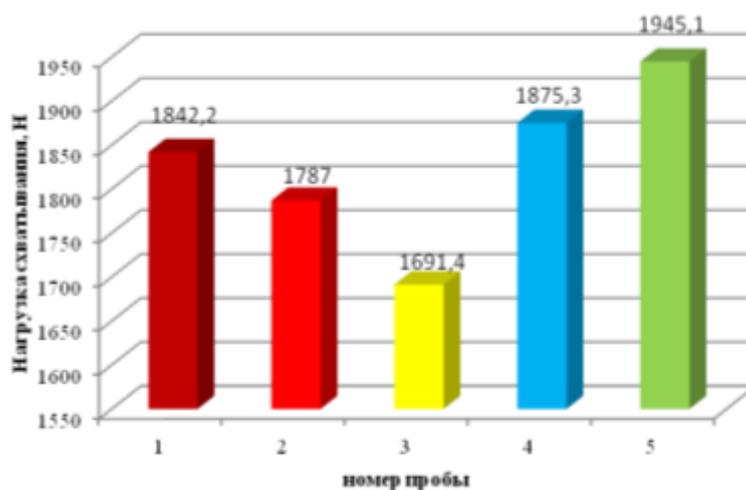


Рис.3. Диаграмма соотношения предельных нагрузок $F_N(H)$

Кроме того, стоит отметить, что пробы № 1 и № 5 при высоком уровне противозадирных и противоизносных свойств имеют низкую сульфатную зольность. Это указывает на то, что в данных пробах используются беззольные противоизносные присадки [2]. Результаты физико-химических анализов, такие как температура вспышки $t_{всп}$, индекс вязкости (ИВ), щёлочное число (ЩЧ), зольность сульфатная (SAPS), элементный состав пакета присадок масел (табл. 2), свидетельствуют о высокой термоокислительной стабильности проб № 1 и № 5.

Таблица 2

Результаты физико-химического анализа проб масел

№	Производитель (марка)	$t_{всп}, ^\circ\text{C}$	ИД	ЩЧ _{МГ КОН/г}	SAPS, %
1	Teboil Super HPD	242	148	11,1	1,05
2	Shell Rimula R4L	227	142	10	1,0
3	Petro-Canada HP Duron	235	140	9,57	1,37
4	Conoco Phillips Super HD II Multigrade	225	138	11,1	1,48
5	Valvoline Premium Blue 7800	245	149	11,9	0,98

Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что пробы № 1 и № 5 обладают оптимальными характеристиками для использования в условиях высоких нагрузок и температур. Они обеспечивают надёжную защиту от износа и задира, а также имеют высокую термическую стабильность.

Сравнительный анализ результатов исследования позволяет сделать выводы о целесообразности использования масел TEBOIL SUPER HPD 15w40 и Valvoline Premium Blue 7800 15w40 в условиях высокой нагрузки карьерной техники.

Эти масла продемонстрировали лучшие противозадирные и противоизносные свойства, что особенно важно при эксплуатации в тяжёлых условиях. Высокая термоокислительная стабильность данных масел позволяет рассматривать возможность продления их ресурса с 250 до 375 мото-часов при условии контроля качества с помощью лаборатории по анализу горюче-смазочных материалов (ГСМ). Низкая сульфатная зольность масел способствует снижению количества отложений на деталях двигателя, что уменьшает риск залегания поршневых колец и накопления отложений в системе смазки.

Полученные результаты представляют интерес для специалистов в области трибологии и материаловедения. Они могут быть использованы для разработки моторных масел с улучшенными эксплуатационными характеристиками, а также для оптимизации процессов эксплуатации и обслуживания высоконагруженных дизельных двигателей. Дальнейшие исследования в этой области позволят более точно определить оптимальные параметры моторных масел и разработать рекомендации по их применению в различных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Аметов В.А., Беляев М.К., Зубрицкий А.В., Шальков А.В. Проблемы автотехнической экспертизы: химмотологический подход // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. № 4. С. 15–27.
2. Аметов В.А., Саркисов Н.П., Ижендеева С.Р., Корешков Г.Г. Контроль работоспособности трибологических систем транспортных машин: монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 230 с.
3. Аникин Е.И., Ефимов Н.В. Трибологическая диагностика смазочных свойств гидравлических масел СДМ // Молодежь и наука: Сборник материалов VI-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-т, 2011. – С. 76–78.
4. Ларионов С.А., Цапаев Д.К., Земченков А.П., Байкара Т.Н. Машина трения для испытания фрикционных материалов// Сборник архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ». Омск, 2021. – С. 171–174.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ОТКАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ

Зубрицкий А.В.¹, Алушкин Т.Е.², Абдуллаева З.А.³, Сапьян А.В.³, Майоров С.М.³

¹ТГАСУ, старший преподаватель

²Томский сельскохозяйственный институт, филиал НГАУ, к.т.н. доцент

³ТГАСУ, студенты гр. 3052/1

e-mail: avzubritskiy@gmail.com

Исследование было проведено с целью выявления причинно-следственных связей, поясняющих «механизмы» возникновения аварийных отказов двигателей MTU 16V4000 автосамосвалов БелАЗ эксплуатирующихся в угольном разрезе. С целью комплексного подхода к исследованию причин возникновения отказов двух двигателей MTU 16V4000 карьерных автосамосвала БелАЗ-75302, были собраны и проанализированы все имеющиеся данные и материалы о работе за весь период эксплуатации.

Аварийные отказы произошли во время эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ. Один из них был введён в эксплуатацию после восстановительного ремонта, а второй – после планового технического обслуживания.

Исследование проводилось последовательно и включало несколько этапов, которые предусматривали использование органолептических, документальных, инструментальных и лабораторных методов исследования [1, 2]. Такой подход позволил систематизировать и проанализировать все релевантные данные, материалы и нормативные документы для выявления причин возникновения отказов двигателей MTU 16V4000.

Этапы и результаты исследования. На начальном этапе исследования были сформулированы несколько гипотез относительно причин отказа двигателя автосамосвала с шасси №298, который отработал после восстановительного ремонта всего 4 мото-часа.

Гипотеза № 1. В рамках первичного технического анализа была выдвинута гипотеза о недостаточной концентрации моторного масла в системе, что потенциально могло привести к состоянию масляного голодания. Детальное изучение характера неисправности и анализ схемы масляной системы позволили предположить, что в случае масляного голодания критическому износу подверглись бы все трущиеся элементы двигателя внутреннего сгорания, в первую очередь распределительные валы и их опоры. Тем не менее, визуальная оценка состояния распределительных валов (рис. 1) демонстрирует отсутствие признаков износа на данных компонентах.



Рис. 1. Распредвал двигателя MTU 16V4000

Помимо этого, снижение давления было бы зафиксировано и зарегистрировано электронным блоком управления (ЭБУ) двигателя. Инженеры-диагносты подтвердили, что ЭБУ, используемые для управления данными двигателями, обладают функциями мониторинга и записи данных о давлении, температуре и уровне моторного масла.

При анализе информации из памяти ЭБУ не были обнаружены данные, указывающие на низкое давление масла. Исследование качественных характеристик свежего и отработанного масла Teboil Super HPD SAE 15W-40, проведённое в испытательном центре горючесмазочных материалов и автотранспортных средств ТГАСУ, показало, что вязкостно-температурные и другие эксплуатационные свойства образца соответствуют требованиям классификаций SAE и API.

В связи с полученными результатами гипотеза о масляном голодании не получила подтверждения и была отклонена как необоснованная.

Гипотеза № 2. Представители предприятия-изготовителя MTU Friedrichshafen GmbH предположили, что потеря работоспособности двигателя могла произойти вследствие износа подшипников коленчатого вала под воздействием электрического тока. Утверждение основывалось на том, что на данном самосвале был нарушен контакт корпуса генератора и рамы автомобиля (зануление), из-за чего на коленчатый вал наводилось напряжение, и в местах касания шейкой коленчатого вала вкладышей происходил электрический пробой.

Для опровержения данной гипотезы были сделаны микрофотографии поверхностей аварийных вкладышей (рис. 2). Анализ снимка (рис. 2, 3) позволил сделать вывод о наличии пластической деформации и усталостного выкрашивания бронзовой заливки вкладышей.

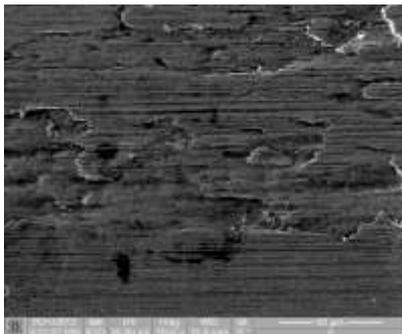


Рис. 2. Микрофотографии поверхности износа аварийного вкладыша на стадии разрушения



Рис. 3. Эпицентр износа вкладышей коленчатого вала

Гипотеза №3. На основании экспертизы и полученных данных, был проведен замер коленчатого вала на прогиб в специализированном цехе на индикаторном стенде. В ходе него был выявлен факт погнутости коленчатого вала, который по аварийным шейкам составил 0,32мм при допуске в 0,05мм. Эти данные позволили подтвердить гипотезу о погнутости коленчатого вала в результате неисправной работы виброгасителя.

На втором этапе исследования были проведены органолептическая экспертиза и отбор пробы моторного масла из аварийного двигателя шасси № 372.

Лабораторный физико-химический анализ показал, что вязкостно-температурные, термоокислительные [4] и другие эксплуатационные свойства образца соответствуют требованиям классификаций SAE и API, а также требованиям MTU. Однако спектральный анализ выявил многократное превышение содержания кремния (Si) в работающем моторном масле. При фактическом допуске концентрации $Si \leq 10$ мг/кг, фактическое содержание составило 150 мг/кг. Это привело к аварийному износу вкладышей, поршней и гильз цилиндров, о чём свидетельствует содержание Pb, Cu, Al, Fe, превышающее допустимые пределы в 3–5 раз, а также проведённый органолептический осмотр разобранного двигателя.

Во время разборки двигателя было обращено внимание на ослабленные и неисправные хомуты (рис. 4), которые должны обеспечивать герметичность системы подачи воздуха.



Рис. 4. Ослабленный хомут системы подачи воздуха

Заключение и выводы. В ходе исследования установлено, что аварийные отказы произошли вследствие нарушения требований Руководства по техническому обслуживанию и ремонту. В первом случае причиной послужило отсутствие дефектовки коленчатого вала при проведении восстановительного ремонта. Во втором случае отказ произошёл из-за несоблюдения технологии технического обслуживания: не был проведён контроль состояния системы подачи воздуха, предусмотренный технологической картой на проведение технического обслуживания №2.

Учитывая, что карьерные автосамосвалы большую часть времени работают в условиях сильной запылённости [3,5], ослабление и повреждение хомутов привело к попаданию неочищенного воздуха в цилиндры двигателя, что вызвало катастрофический износ трущихся деталей и последующий выход из строя.

Результаты проведённого исследования могут представлять интерес для широкого круга специалистов, включая научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой технологий технического обслуживания и ремонта карьерной техники. Это означает, что они будут полезны всем, кто работает в данной области или заинтересован в её развитии. Исследование может помочь оптимизировать процессы технического обслуживания и ремонта, повысить эффективность работы, снизить затраты на эксплуатацию карьерной техники и продлить срок её службы.

Список литературы

1. Аметов В.А., Беляев М.К., Зубрицкий А.В., Шальков А.В. Проблемы автотехнической экспертизы: химмотологический подход. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – № 4. – С. 15–27.
2. Аметов В.А., Саркисов Н.П., Ижендеева С.Р. Корешков Г.Г. Контроль работоспособности трибологических систем транспортных машин: монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 230 с.
3. Аметов В.А., Зубрицкий А.В. Исследования причин отказов двигателей «Камминз» большегрузных автосамосвалов на основе комплексной диагностики системы «ДВС-масло» // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: матер. I Междунар. конф., 25–26 ноября 2011 г. – Новокузнецк: Филиал КузГТУ, 2011. – С. 49–52.
4. Ковальский Б.И., Сокольников А.Н., Верещагин В.И., Афанасов В.И., Петров О.Н. Методы контроля и прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных масел: монография. – Красноярск: Изд-во Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, 2021. – 204 с.
5. Коростелёв А.А., Шурыгин А.В., Зубрицкий А.В. Исследование причин возникновения внезапных отказов двигателя внутреннего сгорания CUMMINS QSK 45-С карьерных автосамосвалов БелАЗ Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2023. – С. 295–298.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И САМОХОДНЫХ МАШИН ПО ПАРАМЕТРАМ КАРТЕРНЫХ ГАЗОВ

Власов Ю.А.¹, Спириин Е.Н.², Алушкин Т.Е.¹

¹ФГБОУ ВО ТГАСУ,

e-mail: yury2006@yandex.ru

²Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Диагностирование технического состояния деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) ДВС является важнейшей частью системы технического обслуживания и ремонта тракторов и самоходных машин. При выборе методов диагностирования наибольший интерес представляют методы, не требующие трудоемких подготовительных операций, при этом обладающие высокой точностью и информативностью. Кроме того, в связи с эксплуатацией тракторов и самоходных машин вдали от производственных баз, затруднено применение стационарного диагностического оборудования.

В качестве безразборных инструментальных методов оценки состояния ЦПГ можно выделить пневмотестирование, термометрирование и анализ рабочего процесса [1]. Одним из перспективных направлений диагностирования ДВС является применение электронных систем для сбора и обработки данных о параметрах рабочего процесса и оценки технического состояния. В качестве диагностического параметра таких систем может служить параметры картерных газов. На сегодняшний день известно большое количество подходов к использованию результатов анализа процессов в картере ДВС [2], их разнообразие связано со значительной погрешностью метода. Основной причиной изменения расхода и давления картерных газов является износ деталей ЦПГ и их прорыв через неплотности в сопряжениях между поршнями, кольцами и гильзами цилиндров. Кроме того, на величину утечек влияет состояние и качество моторного масла, температурный режим двигателя, нагрузка, исправность системы питания и других элементов [3]. При этом в работах ГОСНИТИ [4] авторы указывают на высокую разрешающую способность, в частности расход картерных газов увеличивается 2,5–4 раза за период работы двигателя до ремонта. В работе [5] авторами показана эффективность диагностического метода для оценки качества обкатки двигателей.

Для исключения влияния качества моторного масла, величины нагрузки, температуры двигателя в процессе технического обслуживания можно выполнить ряд дополнительных операций, таких как замена моторного масла, прогрев двигателя, стабилизация режима работы ДВС и т. д. [3]. Известны также методы диагностики, основанные на анализе быстро изменяющихся параметров картерных газов [6], синхронизированных с углом поворота коленчатого вала. Их анализ, позволит определить какой из цилиндров двигателя неисправен.

Кроме деталей ЦПГ на исследуемые параметры влияет и состояние газораспределительного механизма. Это связано с тем, что давление в камере в момент воспламенения топливно-воздушной смеси резко повышается, в этот момент в картер прорывается наибольшее количество газов, кроме того колебания давления в картере вызваны изменением объема картерного пространства по углу поворота коленчатого вала. На индикаторное давление оказывает влияние давление и угол опережения впрыска топлива, в зависимости от которого количество картерных газов может как увеличиваться, так и сокращаться.

Различают статический и динамический анализ параметров картерных газов. В первом случае получают их средние значения. Например, среднее давление картерных газов можно измерить при помощи водяного манометра [3], а их средний расход быть определен при помощи расходомера, [9]. Измерение параметров картерных газов статическим методом, позволяет оценить общее состояние и остаточный ресурс ЦПГ. Для выявления неисправности конкретного цилиндра ДВС применяют методы динамического анализа параметров картерных газов, то есть анализа их колебаний [7].

Все вышесказанное показывает, что экспериментально полученные результаты для конкретного двигателя и в конкретных условиях диагностического эксперимента нельзя использовать напрямую для других двигателей без дополнительных экспериментальных исследований. Поэтому рядом исследователей предложены математические модели работы системы вентиляции картера, позволяющие имитировать процесс изнашивания ЦПГ. Совершенствование систем вентиляции картера, обусловленное повышением требований к чистоте выхлопа, в которых установка датчиков, измеряющих параметры картерных газов без вмешательства в конструкцию системы вентиляции картера не представляется возможной затрудняет оценку адекватности полученных моделей. Все вышесказанное требует новых подходов.

Проведенный анализ научных исследований по вопросу диагностики ДВС с по параметрам картерных газов должен лечь в основу научного исследования с учетом инновационных подходов в моделировании технических систем, широкого использования цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Бельских Ю.П. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов. М., 2001. 412 с.
2. Демаков К.К. Методы диагностики поршневых двигателей внутреннего сгорания анализом газодинамических параметров картерных газов / К.К. Демаков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2021. – Т. 1. – С. 16–21.
3. Кулаков А.Т. Контроль давления картерных газов дизельного двигателя при испытаниях и в эксплуатации для встроенной системы диагностирования / А.Т. Кулаков, Д.И. Нуретдинов, Ф.Л. Назаров // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2019. – № 3. – С. 36–42.
4. Филиппова Е.М. Определение технического состояния цилиндропоршневой группы по расходу картерных газов / Е.М. Филиппова, Е.В. Николаев // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 91–94.
5. Карпенко М.А. Определение качества ускоренной обкатки двигателей по изменению расхода картерных газов, давления и температуры масла / М.А. Карпенко, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4(52). – С. 20–25. – DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-20-25. – EDN BEATJJ.
6. Способ оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания. Сафонов А.В., Воронин Д.М., Мылышко А.А., Вертей М.Л. Патент на изобретение RU 2486486 С1. Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новосибирский государственный аграрный университет (RU) – № 2011153450/06 заявка 26.12.2011; опубликовано 27.06.2013. Бюл. № 18.
7. Бабошин А.А. Разработка методики комплексного диагностирования двигателей и устройства для оценки технического состояния поршневой части ДВС / А. А. Бабошин, В.С. Малышев // Вестник МГТУ. – 2010. – № 4–2. – С. 925–930.
8. Панасенко А.Н. Экспериментальная оценка технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя по давлению картерных газов / А.Н. Панасенко, А.Л. Береснев // Современные исследования в России и мире: отечественный и зарубежный опыт. – 2019. – С. 196–200.
9. Клименко Л.П. Результаты экспериментальных исследований расхода картерных газов двигателей легковых автомобилей для определения их технического состояния / Л.П. Клименко, О.Ф. Прищепов, В.И. Андреев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – № 2. – С. 128–130.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ANYLOGIC

Кобылянский Р.А.¹, Спириин Е.Н.², Алушкин Т.Е.¹

¹ФГБОУ ВО ТГАСУ,

e-mail: arauto@mail.ru

²Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Применение имитационного моделирования транспортных потоков является перспективным направлением решения транспортных проблем городских территорий, создания систем устойчивого транспорта [1]. Применение среды имитационного моделирования позволяет успешно решать задачи, в которых проведение натурных испытаний невозможно или затруднительно. Применение таких моделей в области организации дорожного движения [2, 3] позволяет произвести оптимизацию пропускной способности улично-дорожной сети, повысить безопасность движения.

В настоящей работе разработана имитационная модель пересечения улиц Мира – Маршала Жукова в г. Нижневартовске.



Рис. 1. Обследуемый перекресток улично-дорожной сети

Разработка имитационной модели включает три этапа:

1. Создание имитационной модели улично-дорожной сети указанного перекрестка
2. Компьютерный эксперимент
3. Разработка рекомендаций по повышению эффективности организации дорожного движения

Для построения модели использовалась библиотека дорожного движения среды Anylogic. В данной системе предусмотрена настройка и визуализация потоков автомобилей, пешеходов, настройка работы сложных светофорных комплексов. На первом этапе на основе работы с геоинформационными системами и тахеометрической съемки создана модель перекрестка, определены интенсивность и скорость прибытия автомобилей, интенсивность пешеходного движения. На следующем этапе с помощью элементов библиотек CarMoveTo, CarDispose было задано направление движение транспортных средств в соответствии с реальными статистическими данными, создана работа светофорного комплекса.

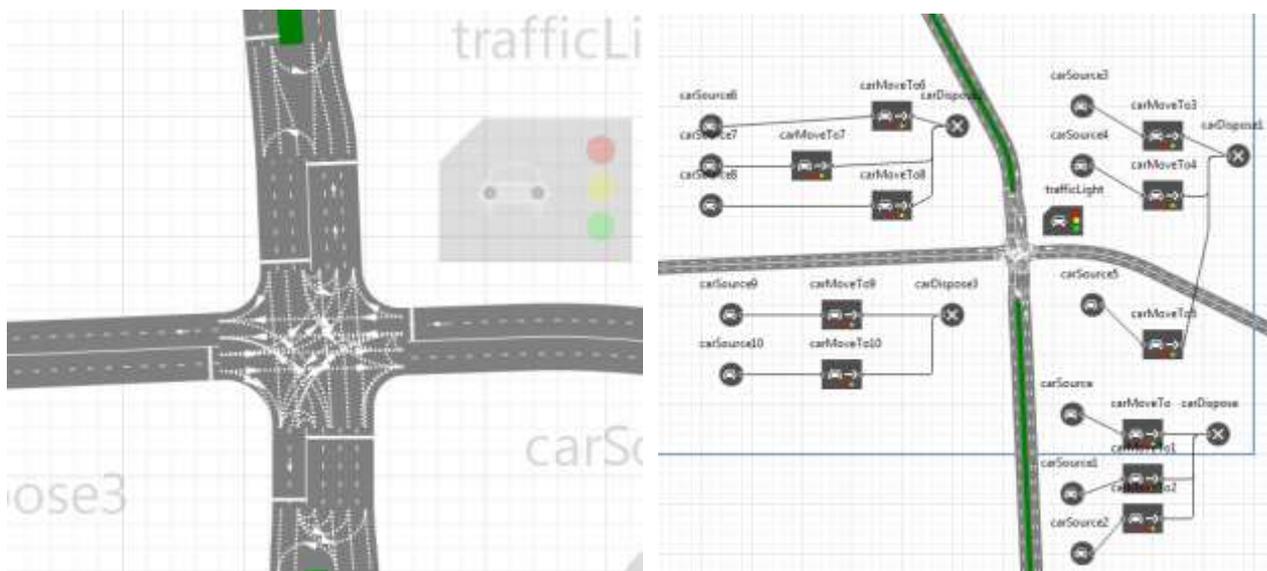


Рис. 2. Дискретно-событийная модель перекрестка

Исходя из существующей настройки светофорных фаз на основе моделирования и анализа реальной ситуации можно сделать вывод о том, что наибольшие затруднения возникают в часы пик при движении по ул. Мира в прямом направлении. Это связано с организацией раздельного левоповоротного движения по этой улице. Результаты имитационного моделирования показывают, что уменьшение времени данной фазы в светофорном цикле позволит повысить пропускную способность улицы Мира на 6,5 % процента без существенного снижения пропускной способности при левом повороте на ул. Жукова.

Список литературы

1. Перечень критических технологий РФ, утвержденный президентом РФ 30.03.02 г. Ресурс доступа: <http://imlab.narod.ru/Projects/Prior/Prior.htm>.
2. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. М., 2006.
3. Воронин В.Е., Куранцева В.С. Оптимизация управления транспортными системами с использованием имитационного моделирования. Ресурс доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/65.html>.

**ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ
ЮНЫЙ ТЕХНИК**

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Журавлев М.Д.

*Научный руководитель: Кольцова М.Н.
МАОУ «Лицей № 9», г. Новосибирск*

В настоящее время в мире разрабатывается и эксплуатируется значительное количество колесных платформ позволяющих управлять их движением дистанционно. Они используются при решении различных задач как в военной, так и в гражданской сфере. Примером тому могут служить колесные платформы для транспортировки грузов, а также платформы с возможностью установки навесного оборудования, манипуляторов, ножей для срезки мелкой растительности, роторных снегоочистителей и т. п. При этом оператор такой платформы может находиться на расстоянии в комфортных для человека условиях, управляя движением по радиоканалу и отслеживая окружающую обстановку через установленную на платформе камеру при помощи монитора или FPV очков. При этом на безопасность эксплуатации подвижной платформы может влиять человеческий фактор. Оператор может отвлечься, неправильно понять окружающую обстановку, потерять контроль из-за внезапного ухудшения состояния здоровья. В данной статье рассмотрена возможность создания системы помощи оператору в обеспечении безопасности движения колесной платформы. Рассмотрена возможность дооборудования роботизированных платформ модулем искусственного зрения, который способен распознавать находящиеся на пути следования платформы определенные объекты и останавливать движение, не допуская физического контакта, при наезде или ударе корпусом.

При разработке и тестировании модуля искусственного зрения использовалось следующее оборудование:

1. Raspberry Pi 4 – одноплатный микрокомпьютер с четырёхъядерным процессором ARM Cortex-A72 с тактовой частотой 1,5 ГГц. Выбор такого вычислительного оборудования связан прежде всего с его минимальными размерами и весом, а также с большим количеством возможностей данной платформы.

2. Камера с возможностью подключения к порту USB.

3. Монитор для отслеживания информации.

В качестве средства разработки использовались язык Python 3.11 и библиотека ImageAI, созданная для того, чтобы разработчики, исследователи и студенты могли создавать приложения и системы с возможностями компьютерного зрения.

Так как распознавание объектов непосредственно в видеопотоке в настоящем времени требует значительных вычислительных мощностей, не сопоставимых с теми, которыми располагает примененное оборудование, было принято решение распознавать объекты по отдельным снимкам с камеры по следующему обобщенному алгоритму:

1. Обратиться к камере, сделать снимок.

2. Сохранить снимок на диск внутренней памяти.

3. Распознать на снимке объекты при помощи предобученной модели компьютерного зрения.

4. При обнаружении на снимке человека подать сигнал (в тестовой версии вывести информацию об обнаружении человека и его координатах относительно пространства снимка в консоль программы). В реальных условиях, создаваемая система, имеет возможность менять уровень напряжения на логических пинах Raspberry Pi управляя двигателями роботизированной платформы.

5. Удалить снимок с диска внутренней памяти.

В качестве нейросетевой модели искусственного зрения на данном этапе была выбрана предварительно обученная модель TinyYOLO_V3. К преимуществам данной модели относятся быстрое действие и наличие возможности распознавать людей как объекты типа «person» на отдельных снимках, получаемых с камеры. К недостаткам можно отнести относительно невысокий процент распознавания объекта, на тестовых наборах данных он не превышал 45 %, однако при скорости обработки 1 кадр за 0,6 секунды такой уровень точности можно считать удовлетворительным.

Листинг программы:

```
from imageai.Detection import ObjectDetection
import os, cv2, threading, datetime
cam = cv2.VideoCapture(0)
way = os.getcwd()
detector = ObjectDetection()
detector.setModelTypeAsTinyYOLOv3()
detector.setModelPath(os.path.join(way, "models/tiny-yolov3.pt"))
detector.loadModel()
detector.useCPU()
def rasp_cam():
while True:
    start = datetime.datetime.now()
    ret, frame = cam.read()
    cv2.imwrite(f'Obrabotchik of frames/Exitfile.jpg', frame)
    video_path = detector.detectObjectsFromImage(
        input_image = os.path.join(way, f'Obrabotchik of frames/Exitfile.jpg'),
output_image_path = None)
    if not video_path:
        print('Nothing is recognized.')
    for eachObject in video_path:
        if eachObject['name'] != 'person':
            print('Nothing is recognized.')
        else:
            print(f'Attention a person has been detected. Coordinates in the
field: {video_path[0]["box_points"]}. STOP MOTORS. ')
            os.remove(f'Obrabotchik of frames/Exitfile.jpg')
            finish = datetime.datetime.now()
            print(finish-start)
thread2 = threading.Thread(target=rasp_cam)
thread2.start()
thread2.join()
```

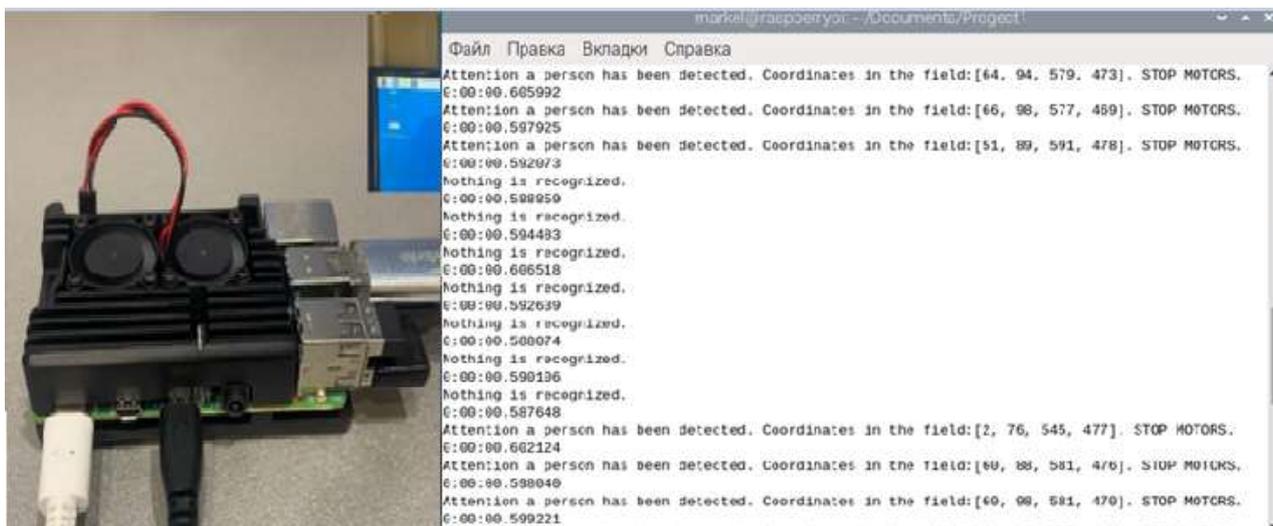


Рис. 1. Модуль искусственного зрения на основе Raspberry Pi 4, результат работы программы.

При обнаружении человека система подает сигнал сообщая координаты объекта в поле обзора камеры и имеет возможность остановить движение платформы. При отсутствии человека система сообщает, что объект не выявлен и никаких действий не предпринимает.

Скорость обработки снимков варьируется от 0,6 до 0,8 секунд и при скорости движения платформы 2 км/ч за время реакции модуля искусственного зрения платформа преодолет путь 0,35–0,45 м.

Вывод: В данной работе была изучена и апробирована возможность создания системы искусственного зрения для обеспечения безопасности движения роботизированной платформы. Результатом работы стало создание рабочего прототипа такой системы.

Список литературы

1. Документация к Raspberry Pi. – URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>.
2. Документация к библиотеке искусственного зрения ImageAI.
3. URL: <https://imageai.readthedocs.io/en/latest/>.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ ЧИСТКИ ТРУБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Григорьев К.А.¹, Каманин М.Р.²

¹МОУ «Лицей № 1»,

филиал АНО «Красноярский детский технопарк «Кванториум» г. Ачинск,

e-mail: grigorj3vc@yandex.ru

²МБОУ «Средняя школа №18»,

филиал АНО «Красноярский детский технопарк «Кванториум» г. Ачинск,

e-mail: markrodkamanin1@gmail.com

Несмотря на то, что домов с печным отоплением становится все меньше, и профессия трубочиста практически ушла из современных реалий, проблема профессионального обслуживания дымоходов стоит довольно остро и в наше время. Актуальность и масштабы этой работы переоценить невозможно, ведь часто люди монтируют и эксплуатируют нагревательные приборы на твердом топливе, не имея в этой области должных знаний и навыков. Любой дымоход со временем нуждается в обслуживании и ревизии, в противном случае возможны возгорания сажи, сужение сечения дымохода или его прогорание, а эти явления довольно часто становятся причиной пожара.

В МЧС России привели статистику пожаров в частных домах. По данным пожарных, из-за неисправного печного оборудования в 2023 году произошло более 15 тысяч пожаров.

Помимо чистки дымоходов, вентиляционные каналы, трубопровод также нуждаются в обслуживании. В наше время дома становятся многоэтажными, дымоходы многометровыми, обслуживание их усложняется, а специалистов по чистке практически нет. К тому же, процесс обслуживания дымоходов требует использования длинных лестниц, а то и спецтехники в виде вышек. Работа грязная, опасная, требующая специальной подготовки работников, а также квалификационного допуска к работам на высоте.

В начале нашей работы мы изучили способы решения проблемы загрязнённости трубопроводов, с точки зрения инженерии и робототехники которых не то, что на просторах России найти тяжело, но и за рубежом. Имеющиеся модели очень дороги, а купить их практически не реально. Например, Jetty-трубочист из Чехии. Он умеет работать только в воздуховодах кондиционеров, очищая их сухим льдом, из-за этого он очень дорогой в производстве и эксплуатации.

Сначала нами был создан промежуточный образец для исследований и испытаний (рис. 1). Данная модель была нужна, чтобы понять как нам эффективнее двигаться по трубе. Например, если ножки расположены по центру всей конструкции или сверху, то робота не будет клонить в сторону, а если ножки расположены снизу, робота будет клонить в сторону, и он перестанет ездить. При больших нагрузках на робота мы можем расположить колеса под углом, что даст нам выигрыш в подъёмной силе, но скорость уменьшится.

После создания прототипа мы продолжили работу и создали 3D-модель робота в 3D-редакторе «Компас 3D» (рис. 2).



Рис. 1. Прототип робота



Рис. 2. 3D-модель робота

Для нашего робота была составлена электронная схема из следующих комплектующих (рис. 3): Светодиоды SMD2835 белые 8 шт., 9V, 60mA; Пульт FS-i6s 10-канальный 1 шт.; Приёмник FS2A 4CH AFHDS 2A Mini 1 шт.; Коллекторный электронный регулятор скорости DESC-S10E-RTR 2 шт.; Мотор-редуктор 25GA-370 3 шт.; Выключатель 1 шт.; Мотор-редуктор для шуруповёрта RS550 1 шт.; FPV-камера 1 шт.; Аккумулятор 11.1wh, 7.4V, 1500mAh, 25C 1 шт.; Преобразователь напряжения 1 шт.

После многих часов проектирования и сборки робота, мы его полностью сконструировали (рис. 4). Далее мы рассмотрим все наши идеи, воплощённые в **конструкцию робота**.

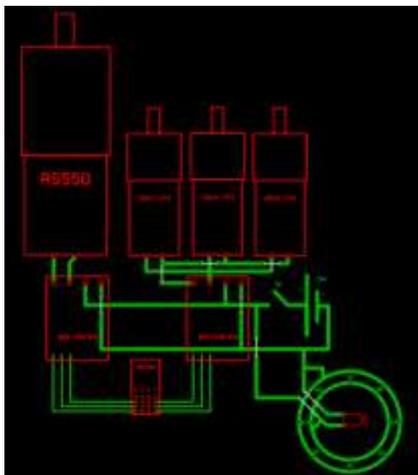


Рис. 3. Электронная схема робота



Рис. 4. Робот-трубочист

1. «Нога» робота. Данная конструкция позволяет двигать колесо в 3-х измерениях, что позволяет точно настроить движение робота.

2. Система распорок. При движении кольца ноги робота синхронно раскладываются либо складываются, что позволяет одним движением настроить робота под нужный диаметр трубы. Кольцо можно зафиксировать при помощи барашковой гайки.

3. Крышка. Светодиоды и камера на крышке расположены на разных уровнях, что делает конструкцию похожую на купол, что даёт лёгкую защиту от пыли и копоти, также она может свободно открываться для доступа ко всей электронике.

4. Щётка. Расположена снизу всей конструкции, к ней прикреплён кардан для лучшей манёвренности робота по трубе. Мы установили сменные щётки, поэтому, если она придёт в негодность или не будет соответствовать размеру трубы, щётку можно с лёгкостью поменять.

В процессе работы робота в трубе диаметром 180 мм. без щётки он свободно передвигался на прямых колёсах. Когда мы прикрепили щётку, то обнаружился недостаток тяги, при повороте моторов на 30–45 градусов он начал ездить. Также он легко ездил по трубам диаметром от 180 до 270 мм. Все эксперименты были проведены в лабораторных условиях без использования полных грязью и копоти труб, поэтому сейчас мы не можем оценить эффективность работы робота, но в будущем мы планируем испытать его в реальных условиях.

Список литературы

1. Неисправность дымохода печи может привести к пожару – Новости – Главное управление МЧС России по Псковской области (mchs.gov.ru).
2. Ремонт дымовых каналов в многоквартирном доме. Техническое обслуживание дымовых и вентиляционных каналов (heatylab.com).
3. Японцы изобрели робота-трубочиста (siriusmag.ru).
4. JettyRobot – роботизированные работы в трубах по всему миру.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ИННОВАЦИИ 2024 – ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Минайлов К.В.

МАОУ «Лицей № 9», города Новосибирска, 7 «И» класс

e-mail: minaylov_kv@mail.ru

Стиль автор: Минайлов В.С.

В последние десятилетия машиностроение претерпело значительные изменения, вызванные внедрением новых технологий и инновационных подходов к проектированию и производству. В условиях глобализации и стремительного развития цифровых технологий, машиностроительная отрасль сталкивается с необходимостью адаптации к новым условиям, что делает актуальным исследование новых технологий, находящих применение в этой области. В 2023 году российское машиностроение продемонстрировало впечатляющий рост на 27,1 %, что свидетельствует о его потенциале и необходимости дальнейшего развития. Однако, несмотря на положительные тенденции, отрасль сталкивается с проблемой старения технологий и устаревших методов проектирования, что приводит к снижению эффективности и конкурентоспособности отечественного производства.

Эффективность электронных чертежей – тема, где рассматриваем, как переход на цифровые форматы может повысить точность и скорость проектирования, а также снизить затраты на производство.



Рис. 1. Системы автоматизированного проектирования (САПР) в машиностроении

Переход к электронным чертежам в машиностроении открывает новые горизонты для проектирования и производства. Одним из значительных преимуществ электронной документации является скорость выполнения. Применение систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет существенно ускорить процесс создания чертежей. Модернизированные технологии значительно уменьшают время на подготовку, позволяя компаниям реагировать на изменения в проекте более оперативно [1].

Редактируемость электронных чертежей является еще одним важным аспектом. Возможность быстро вносить изменения в понравившиеся модели и адаптировать их к новым требованиям создает гибкость, которая недоступна в традиционном подходе к проектированию. Важность этого преимущества становится очевидной, особенно в условиях меняющегося рынка и потребностей клиентов [2].

Точность и детализация чертежей, выполненных в САПР, превосходит результаты ручного рисования. Технологии, использующие 3D-моделирование, позволяют инженерам лучше визуализировать детали и связывать информацию о каждом элементе, что значительно сокращает возможность ошибок при производстве [3]. При этом 2D- и 3D-чертежи играют разные, но важные роли в организованной структуре проектирования, позволяя проектировщикам выбирать наиболее подходящий подход для конкретных задач [4].

Удобство хранения и передачи информации, связанное с использованием электронных ресурсов, также следует подчеркнуть. Электронные чертежи легко сохраняются, копируются и передаются. Это решение значительно упрощает обмен данными между членами команды и заинтересованными сторонами, а также создает хорошую основу для сотрудничества в рамках проекта [5].

Интеграция с другими программами, такими как системы управления проектами и базы данных для деталей, еще больше повышает эффективность работы с электронными чертежами. САПР позволяют создавать базы данных для повторного использования, что помогает значительно сократить время на поиск или создание аналогичных компонентов. При этом избегается дублирование усилий, так как общая база данных упрощает доступ к необходимым ресурсам и обеспечивает консистентность в проектах [1].

Сокращение времени на подготовку документации выражается в более эффективном управлении чертежами. Автоматизация обеспечивает легкость нахождения нужных данных, а также упрощает процесс контроля изменений, версии и верстки документации. Это позволяет избежать ошибок, связанных с неправильным использованием устаревших или некорректных чертежей [2].

Внедрение электронных чертежей открывает новые возможности для инноваций в процессе проектирования. С использованием САПР проектировщики и инженеры могут не только создавать более сложные и эффективные решения, но и экспериментировать с новыми подходами, что значительно расширяет границы возможного и создает преимущества для компаний на рынке [3].

Таким образом, переход от традиционных бумажных чертежей к электронным имеет множество положительных аспектов, влияющих на общую продуктивность работы в машиностроении. Эффективность и быстрота внедрения новых технологий систематически улучшают проектирование и производство, создавая благоприятные условия для роста и соответствия современным требованиям рынка.

Список литературы

1. Почему 2D-чертежи до сих пор актуальны? – Блог Станкофф.RU [Электронный ресурс] // www.stankoff.ru. – Режим доступа: <https://www.stankoff.ru/blog/post/578>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Ответы Mail: перечислите пожалуйста достоинства и недостатки... [Электронный ресурс] // otvet.mail.ru. – Режим доступа: <https://otvet.mail.ru/question/8906718>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Примеры оцифровки чертежей с бумажных носителей [Электронный ресурс] // pcbdesigner.ru. – Режим доступа: <https://pcbdesigner.ru/moi-raboty/primer-ocifrovki-bumazhnogo-chertezha-1-3.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. 2D- и 3D-чертежи: что лучше для механического проектирования? [Электронный ресурс] // www.machinemfg.com. – Режим доступа: <https://www.machinemfg.com/ru/2d-vs-3d-drawing/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Ускоряя проектирование | Перевод чертежей в электронный вид... [Электронный ресурс] // dzen.ru. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/ym300scsqmp_8kfe, свободный. – Загл. с экрана.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕЙМЕРСКИЙ УГОЛОК

Тонкоглаз Я.А.

МКОУ «Пудинская СОШ» 11 класс,

e-mail: tonkoglazana08@gmail.com

Руководитель: Шулякова Р.Р.,

e-mail: roksanashulayakova@mail.ru

Детский технопарк «Кванториум», педагог дополнительного образования

В последние годы игровая индустрия быстро развивается и популяризируется среди людей, в том числе благодаря развитию киберспорта, что приводит к повышенному спросу на специализированные игровые товары. Это создает благоприятные условия для внедрения и популярности темы проекта. Все больше геймеров обращают внимание на комфорт и атмосферу в своем игровом уголке во время длительных игровых сессий, особенно в контексте серьезных соревнований. Проект предоставит геймерам с любым стажем уютную, комфортную и эргономичную комнату, которая долго будет радовать игроков своей атмосферой и способствовать лучшим результатам в киберспорте.

Цель работы: создание уютной и эргономичной обстановки комнаты геймера.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить требования игроков к пространству, дизайну и комфорту;
- разработать концепцию геймерской комнаты;
- продумать дизайн для мебели в комнату;
- создать эскизы геймерской комнаты и мебели;
- создать 3D-модель комнаты и мебели.

Комната геймера должна быть просторной, удобной и эргономичной. Дизайн должен отражать игровую атмосферу и гармонизировать с интерьером. Необходимо обеспечить комфортный стол и кресло, а также качественное освещение и место для игровой техники.

Основная идея проекта – обустроить комфортное место для геймера и создать наиболее удобную игровую комнату в стиле вселенной из игры PalWorld.

Подобных идей довольно много, но не все игроки продумывают дизайн своего уголка. Современный рынок предоставляет огромный выбор гаджетов и мебели для геймеров, но в большинстве случаев весь ассортимент довольно дорогой из-за популярности компании и спроса. Мы же хотим создать дизайн удобной и практичной комнаты, которая будет не только эстетичной, но и практичной для геймера.

В целевую аудиторию данного проекта входят геймеры любого возраста и уровня опыта, которые ценят красоту и уют в своем геймерском уголке. Это могут быть не только профессиональные геймеры, но и любители расслабиться в любимой игре при комфортной обстановке. Также в целевую аудиторию входят люди, которые интересуются современным дизайном и следят за инновациями в мире киберспорта.

Для создания модели комнаты была выбрана программа Blender, ведь она предоставляет множество возможностей для моделирования 3D-объектов, начиная от текстурирования и закичивания анимацией. В качестве основы для модели в Blender создан эскиз игровой комнаты и некоторой мебели.

В качестве идеи дизайна выбрана игра Palworld. Palworld – это игра с интересной сюжетной линией и боями, вдохновленная покемонами. Основная задача игры – охотиться на покемонов и изучать огромный открытый мир.

На текущем этапе создана 3D-модель кровати для печати на 3D-принтере с целью тестирования и прототипирования. Печать позволила визуализировать дизайн и оценить комфорт, преимущества и эргономику конструкции.

Этапы выполнения проекта: поиск и изучение информации о игре Palworld, поиск литературы и изучение информации о проектировании мебели, создание эскизов комнаты и мебели (рис. 1), изучение программ для моделирования, создание 3D-моделей в 3D-редакторе Blender (рис. 2), печать 3D-моделей на 3D-принтере (рис. 3), оформление результатов работы.

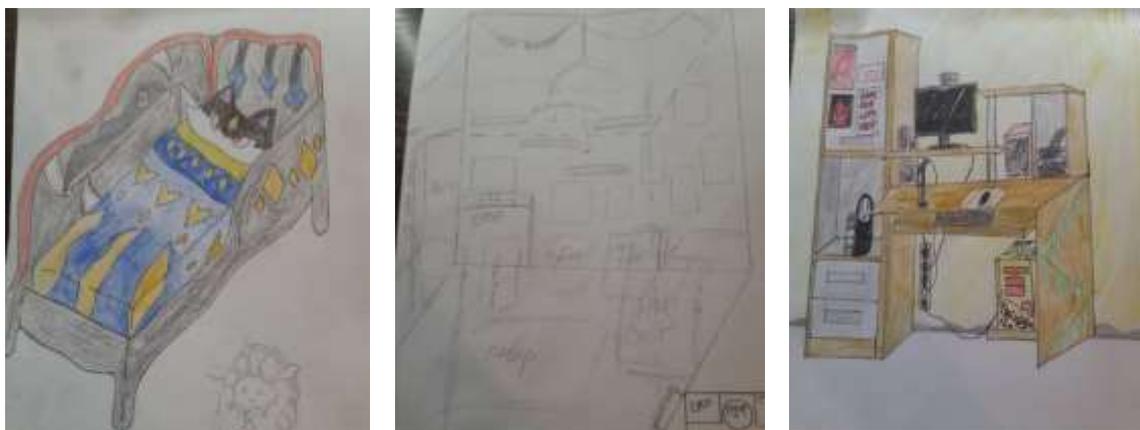


Рис. 1. Эскизы комнаты и мебели



Рис. 2. 3D-модель, созданная в программе Blender



Рис. 3. Напечатанная 3D-модель

Для создания кровати в комнату геймера предположительно будут использованы следующие материалы:

1. Доски 3 м 145×20 мм (450 р/шт).
2. Краска по дереву желтая, синяя, черная, красная, белая (800 р/банка).

3. Синтепон для матраса и подушки (300 р/метр).
4. Хлопковая бязь для обшивки матраса (200 р/метр).
5. Шелк для обшивки подушки (400 р/метр).
6. Металлические пружины для матраса (500р).
7. Сатин для одеяла (400 р/метр).
8. Шерсть овечья для одеяла (3000 р/килограмм).

Потенциальными заказчиками и стейкхолдерами проекта могут быть:

1. Игроки – основные любители контента, которые заинтересованы в товарах по мотивам игры Palworld.
2. Стримеры – люди, которые увлечены игрой и зарабатывают деньги, играя на стримах на разных интернет-площадках. Они заинтересованы в создании красивой комнаты для стримеров.
3. Инвесторы – компании, которым может понравиться идея проекта, они также могут поддержать его финансирование в обмен на часть прибыли.
4. Фанаты жанра – люди, которые любят покимонов и связанную с ними тематику, также могут заинтересоваться идеей проекта и его реализацией

Взаимодействие со стейкхолдерами и игроками станет ключевым фактором для продвижения данного проекта на игровом рынке. На текущем этапе проект включает наброски комнаты геймера и определенную мебель для нее. Разработка началась с создания и печати игрового кресла, после чего была разработана дополнительная мебель и концепт комнаты геймера с использованием программы Blender.

Список литературы

1. Материалы для создания мебели <https://market.yandex.ru/>.
2. Как обустроить геймерское пространство у себя дома <https://realty.ya.ru/journal/post/obustraiваем-geymerskoe-prostranstvo-doma/>.
3. Обзор игры Palworld <https://skillbox.ru/media/gamedev/chto-takoe-palworld-igra-kotoruyu-za-tri-dnya-kupili-chetyre-milliona-chelovek/>.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «КАЛЕЙДОСКОП»

Балабан А., 7 класс МАОУ «Подгорская СОШ»

Колмаков А., 6 класс МАОУ «Подгорская СОШ»

Руководитель: Бузынина Е.С., педагог дополнительного образования

АНО ДО «Детский технопарк «Кванториум», г. Томск

Аннотация. Суть работы заключается в создании дизайн-проекта эстетичного развлекательного центра для жителей и гостей с. Подгорное Томской области.

Актуальность. Анализ рынка [1] в сфере детских развлечений показывает, что рынок растущий, доступный для открытия новых мест проведения досугов. Центр, в котором может развлечься и ребёнок, и взрослый в средних и малых городах сразу становится местом в списке для посещения среди жителей. На сегодняшний день в России уже сложилась культура посещения развлекательных центров. Среди родителей, как утверждают социологи, господствует тренд вечных семейных ценностей: «На детях не экономят!». Желание создать праздник, который запомнится ребёнку на годы, ежедневно подогревает уверенность родителей в том, что день рождения и детский выпускной в развлекательном комплексе – лучший вариант.

Проблематика. Отсутствие эстетичного развлекательного комплекса, который будет дополнять сельскую среду, нести яркую эмоциональную окраску, являться украшением села, а также быть доступным для людей с ограниченными возможностями здоровья.

Цель. Создание дизайн-проекта развлекательного центра с помощью программы Blender и в виде макета.

Задачи: собрать информацию, провести опрос в школах и детских садах, провести обзор аналогов, разработать дизайн развлекательного центра, выполнить визуализацию в программе Blender, создать макет.

Обзор аналогов. Основываясь на данных различных интернет-ресурсов [2], была составлена сравнительная таблица (табл. 1). В Томской области имеется 98 мест для семейного отдыха, некоторые из них вошли в таблицу.

Таблица 1

Сравнительная таблица мест отдыха

Наименование параметра	«Калейдоскоп» (наш проект)	«Активизон»	«Изумрудный город»	«Шарики»
Наличие кинотеатра	+	–	+	–
Наличие игровой зоны	+	+	+	+
Наличие кафе	+	+	+	+
Удаленность	с. Подгорное (0 км)	г. Томск (300 км)	г. Томск (300 км)	г. Томск (300 км)

Вывод: представленные места отдыха находятся на большом расстоянии от с. Подгорное. Это является затратным как по времени, так и по финансам.

Основная часть. Был произведен интервью-опрос в школах и детских садах Чаинского района. 100 % опрошенных высказали мнение, что в нашем районе остро стоит проблема отсутствия мест для семейного отдыха. А также в самом центре села есть здание (рис. 1), строительство которого остановилось на этапе черновой отделки. В здании отсутствуют потолки, пол, окна и двери. Здание заброшено, стены исписаны надписями, что портит вид центральной улицы с. Подгорное.



Рис. 1. Зброшенне зданне

На базе того зданя и планується розмістити Розважальний центр. Розважальний центр було вирішено назвати «Калейдоскоп», так як ця іграшка асоціюється з якими променями іскристого світла, який олицетворює красу перемін и безграничних можливостей. Слово «калейдоскоп» походить від грецького kalos, що означає «красивий» и eidos, що означає «форма». В дизайні зданя вирішено використовувати багато яскравих кольорів, орнаментів и світла. Основним елементом в дизайні всього інтер'єра буде трикутник в поєднанні з якими кольорами и світлом, як елемент узору калейдоскопа. Розроблена 3D-модель дизайну розважального центру «Калейдоскоп» (рис. 2), а також зроблено макет проекту (рис. 3).



а



б



в



г



д



е

Рис. 2. Визуалізація 3D-моделі: а – дизайн фасаду зданя; б – дизайн зданя; в – вікно каси и гардероба; г – кафе; д – ігрова зона; е – кінотеатр



Рис. 3. Макет проекту

Целевая аудитория. Семьи со средним доходом и выше, жители и гости села Подгорное.

Этапы проекта: сбор информации, проведение опроса, анализ аналогов, разработка общей концепции дизайна, визуализация дизайн-проекта в программе Blender, создание макета, подготовка и оформление презентации проекта.

Стейкхолдеры: собственник помещения – Зыков Алексей Геннадьевич, администрация Чаинского района.

Экономика. Стоимость макета проекта рассчитана из понесенных затрат: 3D-принтер – 5000.00 руб., пластик 500 гр. – 600.00 руб. ИТОГО: 5600.00 руб.

Выводы. При реализации проекта Центр станет излюбленным местом для семейного отдыха, проведения праздничных мероприятий. Будет дополнять сельскую среду, нести яркую эмоциональную окраску, являться украшением села.

Список литературы

1. Анализ рынка в сфере детских развлечений – [Электронный ресурс] – <https://avira59.ru/stati/analiz-rynka-razvlechenij/?ysclid=lu8hgda55453641386>.

2. Места семейного отдыха в Томской области – [Электронный ресурс] – https://zoon.ru/tomsk/kids/?search_query_form=1&m%5B4f7613293c72dd2b16000009%5D=1¢er%5B%5D=57.065392628214084¢er%5B%5D=84.57872084454705&zoom=7.

3. Лендинг дизайн-проекта – [Электронный ресурс] – <https://kvantoriumtomsk.ru/centrazvlechpodgornoe>.

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОСМИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРАХ

Киселев Л.Н.¹, Белоусова А.А.², Аверьянов М.И.³, Бывшенко А.В.⁴

¹МБОУ Лицей при ТПУ г. Томска, 10 класс,

e-mail: mineonim@gmail.com

²МБОУ Лицей при ТПУ г. Томска, 10 класс,

e-mail: alisa20032008@gmail.com

³МАОУ СФМЛ, 9 класс,

e-mail: matfey228@yandex.ru

⁴педагог дополнительного образования АНО ДО ДТ «Кванториум»,

e-mail: alyona.byvshenko2002@gmail.com

Системы развертывания спутников – автоматические системы вывода спутников на заданную орбиту, реализованные с помощью манипулятора и основанные на мехатронных модулях, закрепленных на поверхности космических станций.

С каждым годом возрастает участие спутниковых систем в жизни человека. Они используются как в научных целях, так и во многих коммерческих проектах. Так, за 2022 год был запущен в работу 2521 спутник. Из них приблизительно 95 % пришлось на малые космические аппараты [1]. Запуск подобных малых спутников человеком возможен, но есть вероятность закручивания спутника, что скажется крайне негативно на задачах, выполняемых спутником. Также необходимо помнить, что выход в открытый космос для космонавта – это серьезное и дорогостоящее мероприятие, к которому он долго готовится, поэтому выпускать большое количество спутников «людьми» не выгодно.

Всего этого позволяют избежать автоматические системы вывода, основанные на мехатронных модулях, закрепленных на поверхности космических станций. В данной статье будет рассмотрена электронная составляющая космического манипулятора.

В качестве основной электронной составляющей были взяты следующие компоненты:

1. Сервомоторы Robotics Dynamixel AX-12A, 5 штук [2].
2. Программируемый контроллер OpenCM 9.04.
3. Плата расширения OpenCM 485 EXP.
4. Аккумулятор.

Ниже на рис. 1 представлена структурная схема устройства:

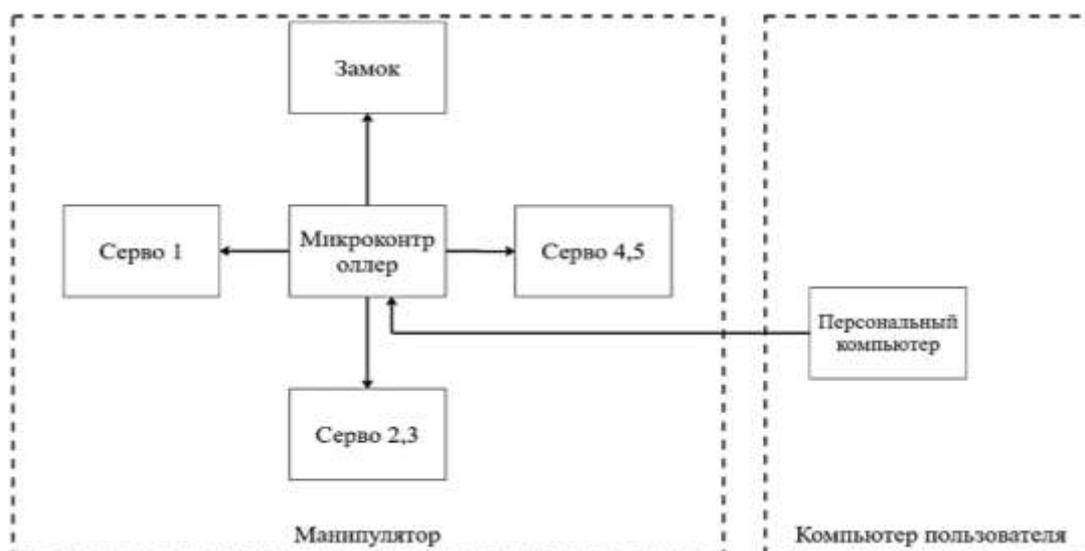


Рис. 1. Структурная схема

Программный код был написан на языке программирования C++. Коммуникация с сервомоторами осуществлялась параллельно через Serial порт контроллера [3]. Ниже, на рис. 2, представлена блок схема кода для управление космическим манипулятором.

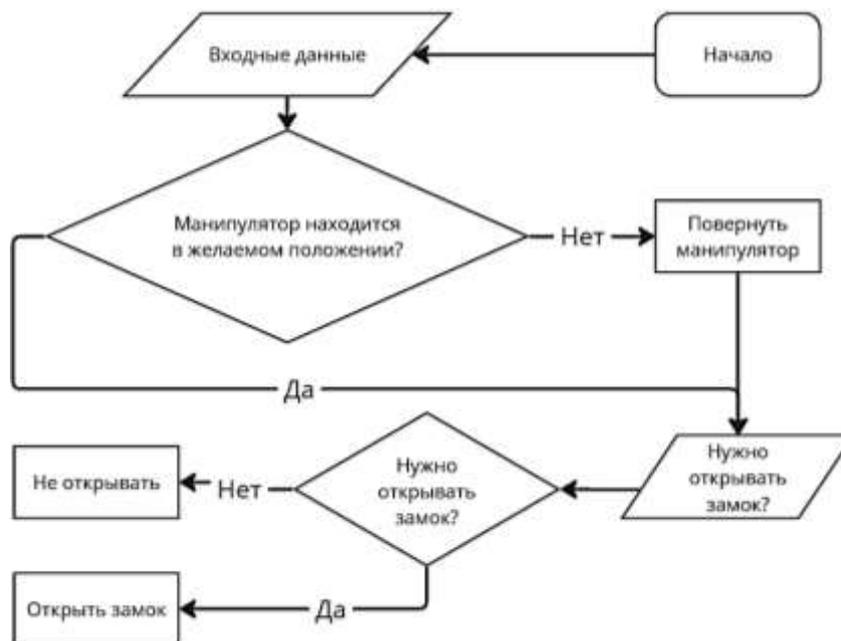


Рис. 2. Блок схема кода

Алгоритм работы программы следующий: манипулятор начинает свою работу; ожидается ввод следующих данных: координаты, на которые необходимо переместиться, угол выпуска груза; затем происходит проверка положения манипулятора в пространстве: если манипулятор находится в нужном положении – программа переходит к следующему этапу, если нет – происходит поворот манипулятора в нужное положение; далее ожидается команда оператора, нужно или нет открывать замок: если нужно, то замок открывается, если нет – не открывается.

Список литературы

1. Грошев В.Я, Грошев С.В, Мельник Н.Н, Темников В.Н, Ляпинков Д.В, Столпаков А.В. Мало-массогабаритные космические аппараты дистанционного зондирования Земли – URL: <http://www.iki.rssi.ru/earth/pres2006/groshev.pdf> – С. 2
2. ROBOTICS AX-12A. – URL: <https://emmanual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-12a/>.
3. Arduino Serial. – URL: <https://arduino.ru/Reference/Serial>.

РАЗРАБОТКА ВЫПУСКАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»

Белоусова А.А.¹, Аверьянов М.И.², Киселев Л.Н.³

*¹Место учебы: МБОУ Лицей при ТПУ, 10 класс, г. Томск,
email: alisa20032008@gmail.com*

*²Место учебы: МАОУ СФМЛ, 9 класс, г. Северск,
email: matfey228@yandex.ru*

*³Место учебы: МБОУ Лицей при ТПУ, 10 класс, г. Томск,
email: mineonim@gmail.com*

*Научный руководитель: Бывшенко Алена Владимировна, педагог ДО детского технопарка
«Кванториум», г. Томск,
email: avb128@tpu.ru*

Макет устройства, разрабатываемого в рамках проекта «Космическая катапульта», представляет собой руку-манипулятор, располагающуюся на внешней поверхности космической станции, с выпускающим кейсом на конце, в котором спутник приводится в расчетное положение для последующего выпуска в нужном направлении [1]. Так как спутник находится в условиях космического пространства, на него действует микрогравитация, а также отсутствует трение о воздух, поэтому приводиться в заданное положение он должен закрепленным в закрытом кейсе, а придание ему первичной скорости должно быть с определенной точностью, чтобы он полетел в строго заданном направлении. Это делает разработку выпускающего механизма важным этапом как в создании самой установки, так и ее макета.

На основе вышеперечисленного была сформулирована следующая цель: создание простого в работе и легкого выпускного механизма, для выведения спутника из выпускного кейса, который сможет работать в космосе, вне зависимости от его положения в пространстве к декабрю 2024 года.

Функциональные требования к механизму:

- Занимает меньше трети пространства выпускного кейса размерами.
- Способен с ускорением вытолкнуть груз размерами 10×10×10 см и массой 1 кг.
- Имеет возможность разборки без деформации деталей.
- Работает при любом положении кейса в пространстве.

Применение данной технологии оптимально при решении задач выталкивания грузов с ускорением и на Земле, поэтому потенциальными заказчиками могут выступать компании с совершенно разным профилем. Однако приоритетные заказчики все же предприятия аэрокосмического профиля: госкорпорация «Роскосмос» и входящие в него:

- Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина.
- АО «Решетнев».
- РКК «Энергия».

В статье посвященной конструкции макета, указано, что подобные конструкции выводных систем существуют в мире [1]. В описании устройства J-SSOD, выпускающий механизм этой системы обозначен как «internal spring force» (внутренняя сила пружины) [2]. Разработанный механизм, по подобию японского аналога, основан на силе упругости пружины сжатия и представляет собой простейший поршень, приводящийся в движение мотором постоянного тока (рис. 1).

Разработанная конструкция выпускающего кейса представляет собой два отсека, разделенных стенкой (1). В отсеке 1 расположен мотор постоянного тока, в отсеке 2 – спутник. Во избежание поломки стенок в результате отдачи пружин, пространство отсека укреплено двумя видами лонжеронов (2). Через отверстие в стенке вал выведен в выпускающий отсек, на него надето большое зубчатое колесо (3). При вращении вала оно приводит в движение два

малых колеса (4), крючки, на осях которых, (5) из-за вращения отпускают толкающий клапан (6) на 4 пружинах сжатия (7). Спутник выталкивается из выпускающего кейса, двигаясь по угловым направляющим (8).

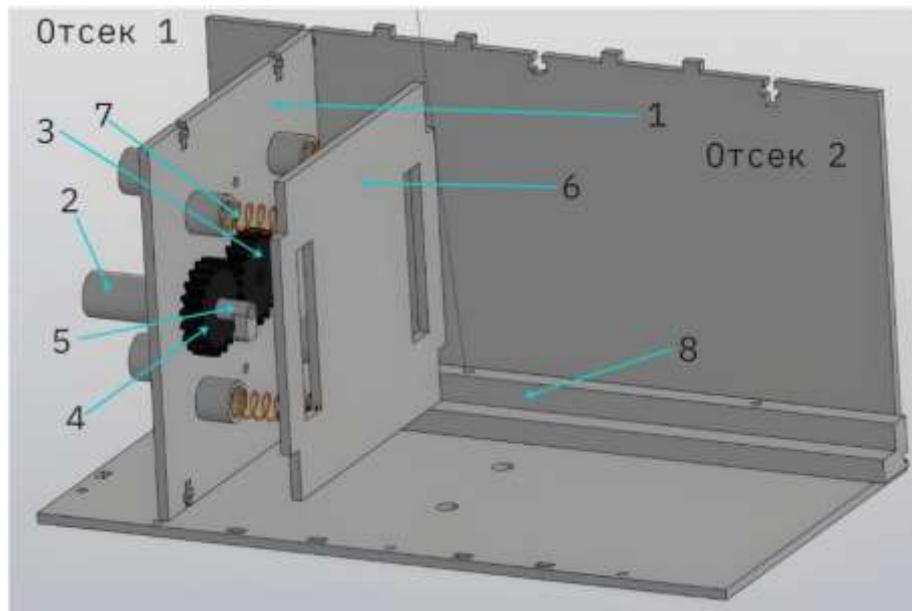


Рис. 1. Конструкция выпускающего механизма:

1 – стенка, разделяющая отсеки; 2 – лонжероны; 3 – большое зубчатое колесо; 4 – малые зубчатые колеса; 5 – крючок; 6 – толкающий клапан; 7 – пружина сжатия; 8 – направляющие

Так как в данной конструкции скорость вращения пружин и их крутящие моменты не имеют определяющего значения, было решено проводить расчеты на основе предпочтительных диаметров. Вычислялось передаточное отношение (1), количество зубцов для малого подобрано произвольно, а для большого выведено по формуле (2) [3].

$$i_n = \frac{d_{\text{большого}}}{d_{\text{малого}}} = \frac{50\text{мм}}{25\text{мм}} = 2, \quad (1)$$

где i_n – передаточное число; $d_{\text{большого}}$ – диаметр большого колеса; $d_{\text{малого}}$ – диаметр малого колеса

$$z_{\text{большого}} = z_{\text{малого}} \cdot i_n = 20 \cdot 2 = 40, \quad (2)$$

где i_n – передаточное число; $z_{\text{большого}}$ – количество зубьев большого колеса; $z_{\text{малого}}$ – количество зубьев малого колеса

В данный момент идет сборка готовой конструкции. После этого планируется программирование механизма с использованием микроконтроллера Arduino. Электроника будет размещена на внешней стенке выпускающего кейса макета для удобства управления.

Список литературы

1. Белоусова А.А., Аверьянов М.И. Разработка конструкции макета системы развертывания спутников «Космическая катапульта»: тезисы. – Томск: Юные исследователи науке и технике. Сборник трудов, 2024. – 202–206 с.
2. Малый орбитальный развертыватель J-SSOD // описание устройства: сайт. – URL: <https://humans-in-space.jaxa.jp/en/biz-lab/experiment/facility/ef/jssod/>.
3. Добровольский В.П. Расчет зубчатых и червячных передач: учебное пособие. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 5, 15 с.

МЕХАНИЗМ ОТКРЫТИЯ КРЫШКИ СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПУТНИКОВ «КОСМИЧЕСКАЯ КАТАПУЛЬТА»

Аверьянов М.И., Белоусова А.А., Киселев А.Н.

МАОУ СФМЛ, 9 класс, г. Томск,

e-mail: matfey228@yandex.ru

МБОУ лицей при ТПУ, 10 класс, г. Томск, e-mail: alisa20032008@gmail.com

МБОУ лицей при ТПУ, 10 класс, г. Томск,

e-mail: mineonim@gmail.com

*Научный руководитель: Бывшенко Алена Владимировна,
педагог ДО, АНО ДО детский технопарк «Кванториум», г. Томск,*

email: avb128@tpu.ru

С начала 2024 года началось создание проекта «Космическая катапульта» [1]. Данный проект представляет из себя устройство, крепящееся на внешней стороне МКС. Данное устройство будет запускать спутники в нужном направлении без смещения траектории. При разработке появилась проблема: спутник, находясь в механизме запуска может вылететь, так как крышка не была предусмотрена. Поэтому, когда макет был собран, началось создание крышки, которая будет удерживать спутник в пусковом механизме.

Крышка открывается и закрывается с помощью червячного вала. Механизм открытия состоит из четырех деталей, а именно из шестеренки (2), червячного вала (3), крепления мотора (4) и крышки (1). Модели данных деталей изготавливались в программе «Компас». Сборка механизма изображена на рис. 1.

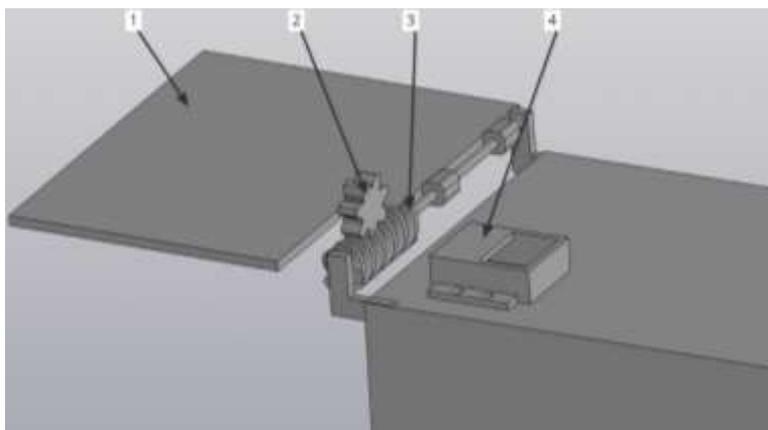


Рис. 1. Модель механизма открытия

Задача механизма открытия крышки в проекте «Космическая катапульта» удерживать спутник внутри механизма до запуска и открыться в нужный момент, чтобы выпустить его. Пример данной функции был взят из уже созданных устройств похожего назначения. Такой способ удержания спутника довольно прост и эффективен, так как закрытие и открытие крышки осуществляется автоматически.

Перед созданием открывающегося механизма было разработано пять этапов.

1. Эскизирование: изучение разных источников информации и создание чертежей на их основе.
2. Моделирование: начало разработки моделей.
3. Сборка: печать на принтере и последующая сборка в полноценную крышку.
4. Программирование: планируется запрограммировать крышку для своевременного автоматического открытия и закрытия.
5. Проверка: тестирование готового макета.

На данный момент проект находится на третьем этапе и требует сборки готовых деталей, но все остальные фазы разработки были сделаны. В ходе работы были вовремя выполнены все запланированные изменения и цели.

В дальнейшем планируется собрать конструкцию и протестировать ее работу, а также исправить ошибки, допущенные в процессе.

Список литературы

1. Белоусова А.А., Аверьянов М.И. Разработка конструкции макета системы разворачивания спутников «Космическая катапульта»: тезисы. – Томск: Юные исследователи науке и технике. Сборник трудов, 2024. – 202–206 с.

2. Добровольский В.П. Расчет зубчатых и червячных передач: учебное пособие. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 5, 15 с.

РОБОТ-УПАКОВЩИК ПОДАРКОВ

Лабунин В.Е., ученик 8 класса ОГАОУ «Губернаторский Светленский лицей», г. Томск
Дубинин Р.Е., ученик 8 класса ОГАОУ «Губернаторский Светленский лицей», г. Томск
ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26

e-mail: braginsv2@yandex.ru

Руководитель: Брагин С.В., педагог ДО

ДТ «Кванториум», г. Томск

С увеличением онлайн-продаж потребность в автоматизации упаковки товаров возросла. Упаковка подарков вручную требует значительных временных затрат, особенно в праздничные сезоны. Роботизация этого процесса позволит существенно сократить время, улучшая производительность. Современные технологии позволяют настраивать роботов для упаковки различных размеров и форм подарков, что дает возможность адаптироваться под запросы клиентов. Проект «Робот-упаковщик подарков» имеет высокий потенциал для модернизации процесса упаковки, что отвечает современным требованиям рынка и потребителей.

Робот помогает упаковать подарки небольших размеров до 10×10×10 см. Все детали для робота смоделированы в программе «КОМПАС 3D» и напечатаны на 3D-принтере. В роботе использована электроника «Arduino Uno», для которой написан программный код на языке программирования C++.

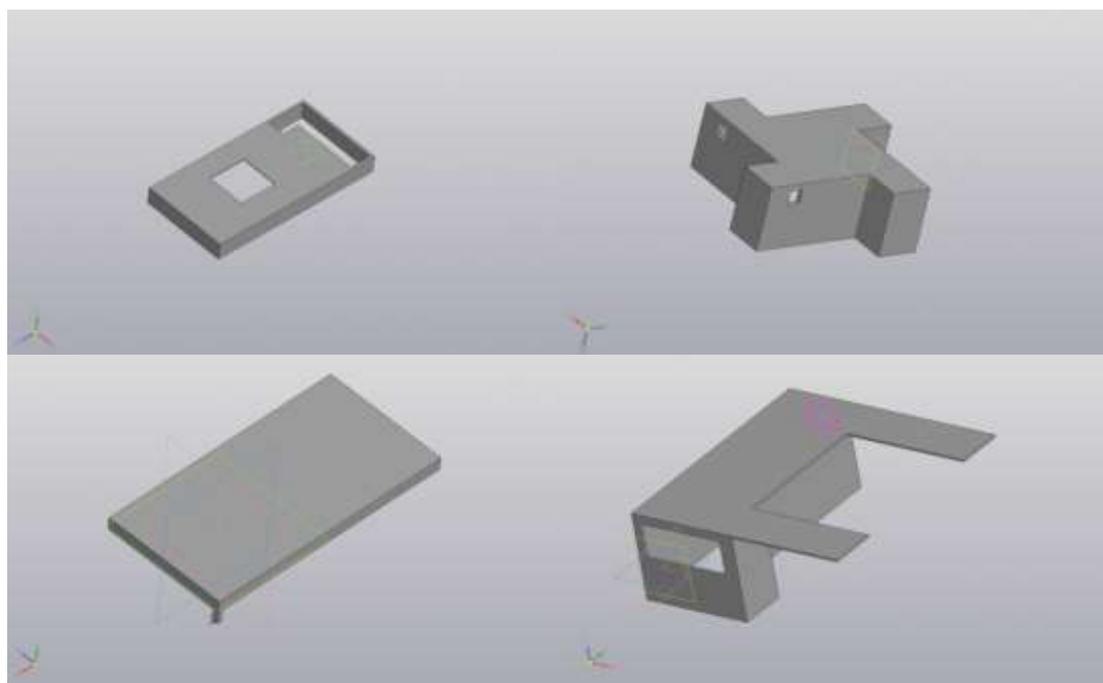


Рис. 1. Модели частей корпуса

Список литературы

1. Параскевов А.В., Левченко А.В. Современная робототехника в России: реалии и перспективы (обзор) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 104. – С. 1680–1701.
2. Кельдышев Д.А., Иванов Ю.В., Саранин В.А. Робототехника в инженерных и физических проектах. – 2018.

ОБЕЗЬЯНА-ЭКСКУРСОВОД

*Буртовой К.Е., ученик 8 класса МБОУ Лицей № 51, г. Томск
Рачис А.А., ученик 9 класса МАОУ СОШ № 23, г. Томск
Рулевский Е.В., ученик 8 класса МБОУ Гимназия № 2, г. Томск
ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26
Руководитель: Брагин С.В., педагог ДО
ДТ «Кванториум», г. Томск,
e-mail: braginsv2@yandex.ru*

Робот обезьянка-экскурсовод представляет собой важное инновационное устройство, способное значительно улучшить процесс проведения экскурсий. С использованием такого робота возможно значительно повысить интерес и вовлеченность участников экскурсии, а также улучшить качество информации, предоставляемой им. Робот обезьянка-экскурсовод способен привлекать внимание участников и поддерживать их интерес на протяжении всего маршрута. Благодаря запоминающемуся внешнему виду и интерактивным функциям, он создает комфортную и увлекательную атмосферу для освоения новой информации. Кроме того, робот способен работать в режиме 24/7 без необходимости отдыха, что позволяет организовывать экскурсии в любое удобное для участников время.

Детали робота смоделированы в программе «Компас 3D» и напечатаны на 3D-принтере. Работа робота выполнена на базе «Arduino Uno» с использованием языка программирования C++.

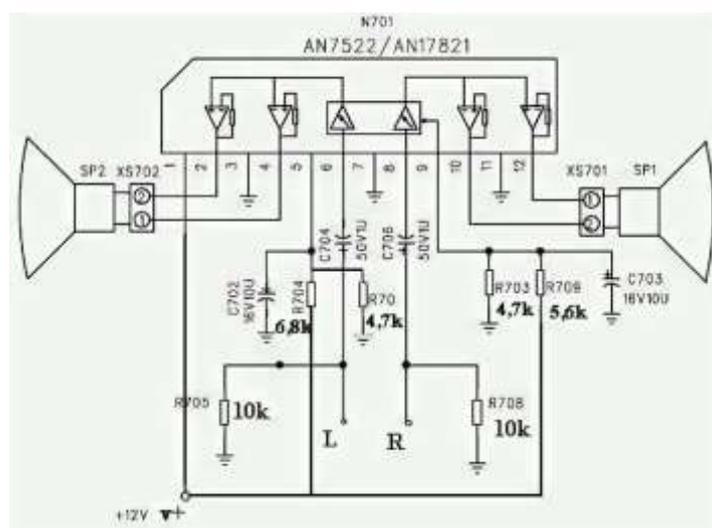


Рис. 1. Схема подключения

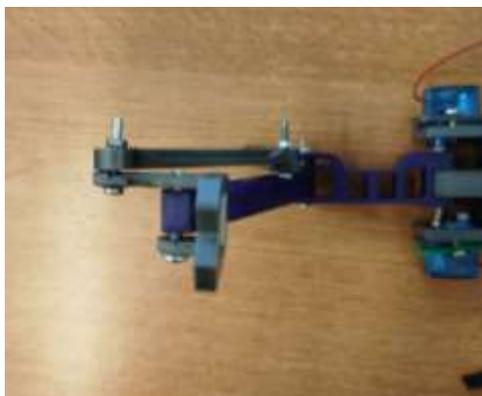


Рис. 2. Механизм движения лап

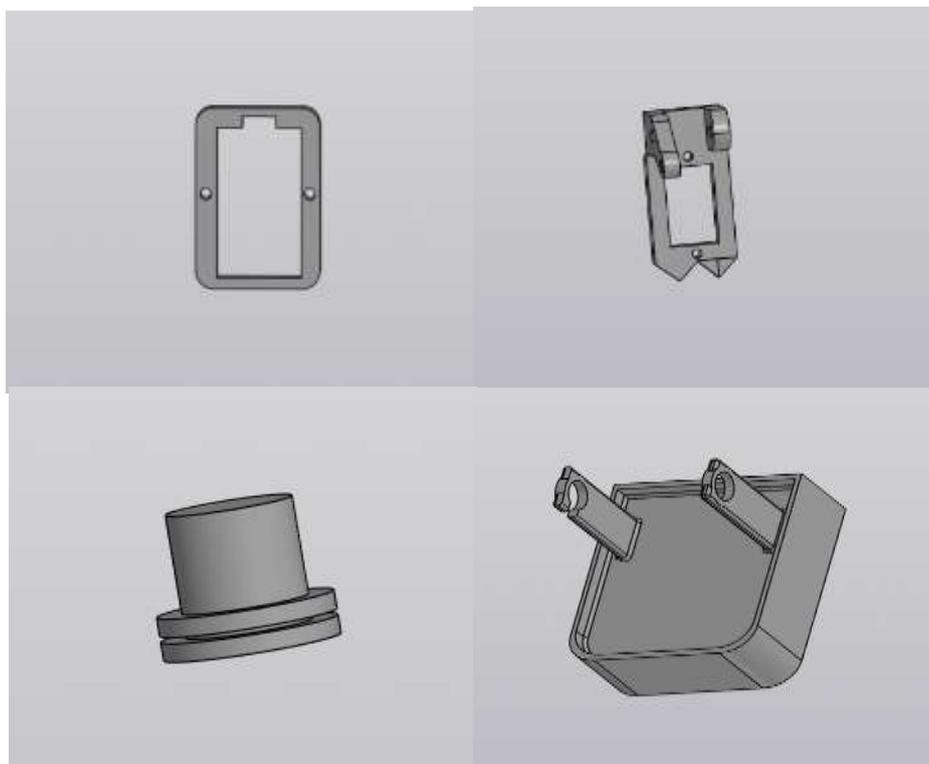


Рис. 3. Модели, выполненные в Компас 3D

Список литературы

1. Параскевов А.В., Левченко А.В. Современная робототехника в России: реалии и перспективы (обзор) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 104. – С. 1680–1701.
2. Бушуев Д.А., Рубанов В.Г., Коренева Т.Ю. Построение и исследование виртуально-го прототипа мотор-колеса робототехнического транспортного средства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 6–14.

РОБОТ ДЛЯ СБОРА БАХИЛ

*Ткачев А.А., ученик 10 класса лицей им. Авдзейко, г. Томск
ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26
Руководитель: Брагин С.В., педагог ДО
ДТ «Кванториум», г. Томск,
e-mail: braginsv2@yandex.ru*

В современном мире, где гигиенические нормы и поддержание чистоты играют ключевую роль, проблемы, связанные с брошенными бахилами, становятся все более актуальными. В учреждениях, требующих строгого соблюдения санитарных норм, наличие брошенных бахил может негативно сказываться на имидже заведения и его функционировании. Проект нацелен на создание робота, который будет перемещаться заданной траектории. Этот робот будет оборудован механизмом для обнаружения и сбора лежащих на полу бахил, а также системой для их транспортировки в указанное место. Проблема брошенных бахил наблюдается в таких организациях как: медицинские учреждения, музеи, спортзалы и другие помещения с особо чистыми производствами.

Решение данной проблемы с помощью робота будет способствовать повышению уровня санитарии и порядка в этих учреждениях. Цель проекта состоит в разработке робота, способного собирать и убирать бахилы. Успешная реализация этого устройства позволит значительно сократить время, затрачиваемое на уборку, и улучшить уровень чистоты в учреждениях.

Детали робота смоделированы в программе «Компас 3D» и напечатаны на 3D принтере. Работа робота выполнена на базе одноплатного компьютера «Raspberry pi» с использованием языка программирования Python. Двигаясь по черной линии, робот способен обнаруживать бахилы, которые лежат на полу, подбирать их и переносить в заданное место.



Рис. 1. Прототип робота для сбора бахил

```

while True:
    status, frame = cam.read()
    if status == False:
        print("Have't Frame")
        break
    else:
        frame = cv2.resize(frame, SIZE)
        gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        binary = cv2.inRange(gray, 180, 255)
        binary_viz = binary.copy()
        cv2.drawContours(binary_viz, [src_draw], 0, 150, 3)

        M = cv2.getPerspectiveTransform(TRAP, RECT)
        perspective = cv2.warpPerspective(binary, M, SIZE, flags=cv2.INTER_LINEAR)

        mid = perspective.shape[1]//2
        hist = np.sum(perspective, axis=0)
        left = np.argmax(hist[:mid])
        right = np.argmax(hist[mid:]) + mid
        center = (left + right) // 2

        error = center - mid
        angle = 90 + error*Pk + (last_e - error)* Dk
        last_e = error
        if angle > 115:
            angle = 115
        elif angle < 75:
            angle = 75
        control(pi, ESC, speed, STEER, angle)

```

Рис. 2. Фрагмент кода для обнаружения бахил

Список литературы

1. Тиммонс-Браун М. Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов. – БХВ-Петербург, 2020.
2. Бушуев Д.А., Рубанов В.Г., Коренева Т.Ю. Построение и исследование виртуального прототипа мотор-колеса робототехнического транспортного средства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 6–14.

КВЕСТ-ЭКСКУРСИЯ ПО ГИМНАЗИИ № 6

*Цапко А.Ю., ученик 8 класса МАОУ Гимназия № 6, г. Томск
ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26
e-mail: braginsv2@yandex.ru;
Руководитель: Брагин С.В., педагог ДО
ДТ «Кванториум», г. Томск*

В настоящее время выпускники 9 классов активно задумываются о том, куда бы поступить в 10 класс. Многие в первую очередь рассматривают лица при университетах, но и немалое количество думают о других школах. Также при переводе из одной школы в другую сложно выбрать определенную. Чтобы найти отличие в большинстве школ, необходимо проделать большую работу по поиску информации, так как не все данные в открытом доступе. Игра, которая позволила бы не только познакомиться с гимназией, но и получить новые знания в различных лабораторных работах, позволила бы решить данную проблему.

Цель проекта:

Создание игры на компьютер, в которой возможно было посетить гимназию, изучить ее коридоры, получить новые знания в лабораторных работах по различным дисциплинам и поучаствовать в некоторых мероприятиях.

Задачи проекта:

1. Создание виртуального тура по гимназии № 6, который покажет основные достопримечательности и уникальные места школы.
2. Разработка квестовых заданий, которые позволят участникам узнать интересные факты о школе и проверить свои знания.
3. Проведение интерактивных мероприятий, таких как викторины, конкурсы и игры, для активного участия школьников.

Игра была разработана на движке «Unreal Engine 4», объекты были смоделированы в программе «Blender». Участников виртуальной игры ждет квест-экскурсия по кабинетам и залам одной из лучших гимназий в городе Томске. Они смогут познакомиться с достопримечательностями учебного учреждения, выполнить различные лабораторные работы и даже помочь учителям в возникших экстремальных ситуациях.

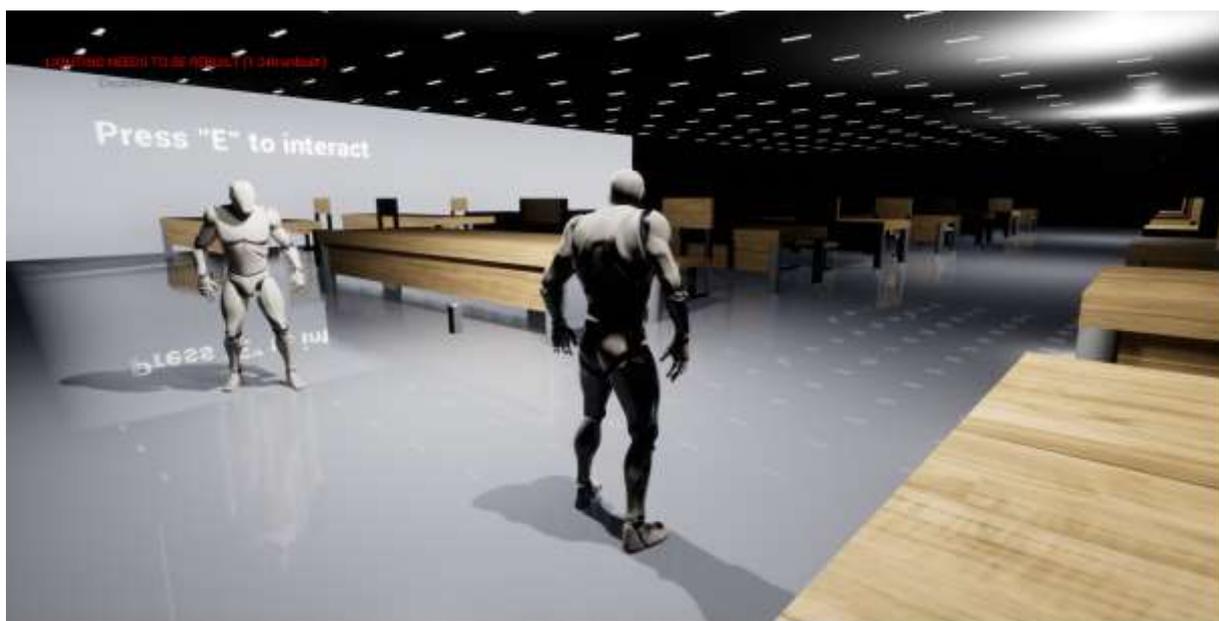


Рис. 1. Прототип одного класса

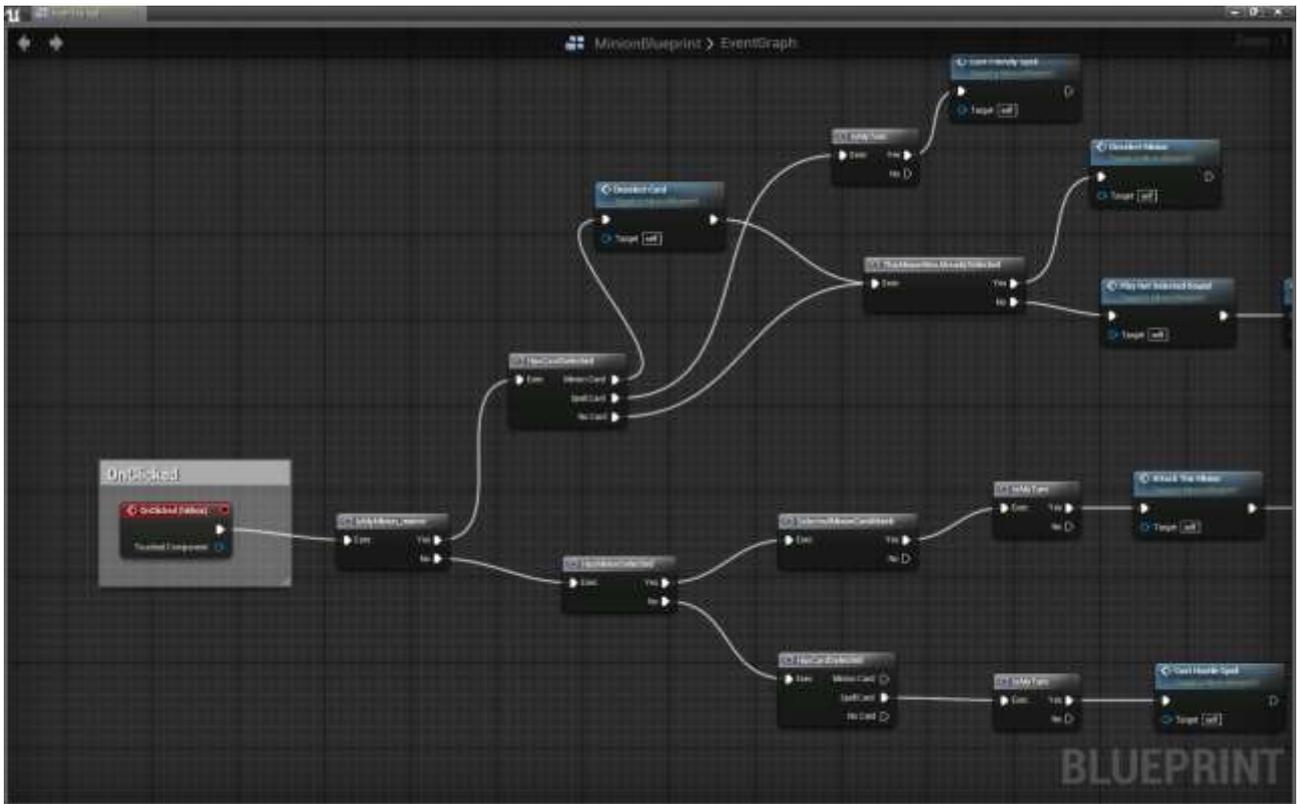


Рис. 2. Фрагмент программы для сбора объектов

Список литературы

1. Бакунов А.М. и др. Применение unreal engine в разработке игр. – 2018.
2. Соломатов В.М., Кушнарв В.Ю. Разработка виртуальных химических реакций в BLENDER // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2023. – С. 1507–1509.

РОБОТ-МЕРЧАНДАЙЗЕР

*Шумилевич И.Ю., ученик 9 класса МАОУ СОШ № 32, г. Томск
ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26
e-mail: braginsv2@yandex.ru;
Руководитель: Брагин С.В., педагог ДО
ДТ «Кванториум», г. Томск*

Проблема поиска товаров наблюдается в различных торговых точках, часто связанная с неэффективностью работы персонала. Долгое время на поиск вызывает очереди, негативные эмоции у покупателей и, соответственно, падение прибыли. Внедрение систем RFID может значительно улучшить отслеживание товара без необходимости прямого контакта, однако сопряжено с высокими затратами и рисками, связанными с повреждением меток. Альтернативой могут служить штрих-коды, которые менее затратные, но требуют наличия считывателей и не обеспечивают быстрой локализации товаров.

Для решения этой проблемы был изготовлен робот в пластиковом корпусе, с подключенной камерой 4К, разработанный на базе одноплатного компьютера «Raspberry Pi» и запрограммированный на языке Python с использованием библиотеки OpenCV и фреймворка Tensorflow, который способен распознавать штрих-коды и двигаться по чёрной линии к месту расположения товара.

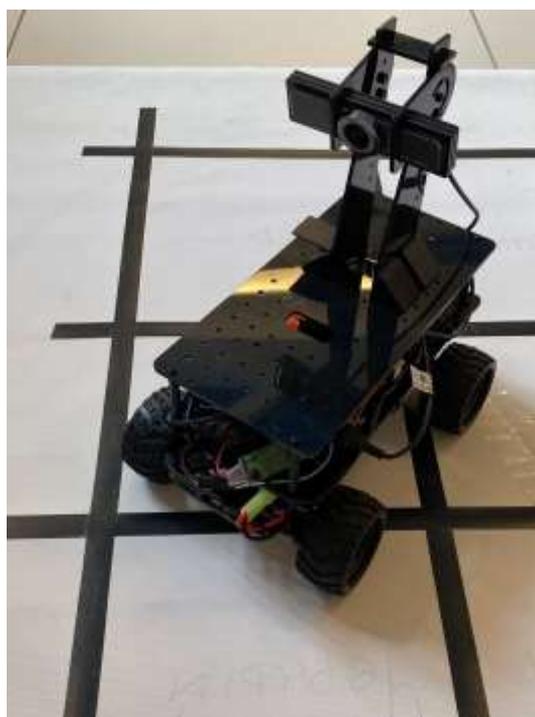


Рис. 1. Прототип робота-мерчандайзера

Список литературы

1. Тиммонс-Браун М. Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов. – БХВ-Петербург, 2020.
2. Ширкин А.Е., Тарачков М.В., Перминов И.К. Распознавание образов автономным роботом торгового зала // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. – 2018. – С. 382–387.

УПРАВЛЯЕМЫЙ СВЕТОВОЙ ПРИБОР НА ОСНОВЕ СВЕТОПРОВОДЯЩИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Бричков Г.А.

МБОУ Лицей при ТПУ города Томска, 344 группа,

e-mail: gleba_br@mail.ru

Научный руководитель: Туранов С. Б., канд. техн. наук, доцент Ом ИШНПТ ТПУ

Освещение играет ключевую роль в создании комфортной и безопасной среды. Оно применяется почти везде: на улицах, в офисах, жилых помещениях, кафе, школах и т. д. Однако, с точки зрения энергопотребления, традиционное освещение обеспечивает недостаточно эффективно. Согласно данным исследования Международного энергетического агентства, около 19 % (примерно 3000 ТВт·ч) потребляемой энергии в день уходит на освещение. Особенно остро эта проблема стоит для офисных помещений, где на свет затрачивается от 20 до 60 % энергии, уступая по этому показателю лишь системам вентиляции [1]. Поэтому, снижение затрат на освещение является актуальной и важной задачей.

Решить озвученные проблемы может применение интеллектуальных систем освещения (ИСО). ИСО – это система, использующая современные технологии для автоматизации и оптимизации световых параметров. В настоящее время для контроля освещения часто применяются независимые датчики (например, датчики движения и освещенности). Однако, такие датчики имеют существенные ограничения: они фиксируют лишь общее присутствие движения или света, не учитывая их источник. Они не могут определить, действительно ли в данный момент необходимо освещение и находятся ли в помещении именно люди. Лучшим решением является использование искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Данные технологии могут точно оценивать присутствие в комнате людей и настраивать световые приборы таким образом, чтобы обеспечивать оптимальные и необходимые характеристики с учетом внешних условий (уровень естественной освещенности, время суток/года, температура/влажность и т. д.). Эксперименты по использованию интеллектуального освещения вызывают все больше интереса в научном сообществе. Так, например, в работе [2] для управления освещением использовались системы обнаружения человека. Благодаря чему получилось достичь экономии энергии на 86,19 %, что является достаточно высоким значением.

Однако существующие исследования в области ИСО не учитывают второго существенного недостатка осветительных установок, а именно их негативного воздействия на здоровье человека. На сегодняшний день одними из самых распространенных источников освещения являются люминесцентные и светодиодные лампы. Люминесцентные источники, помимо наличия ртути, имеют высокий коэффициент пульсаций и неравномерный спектр, что может оказывать влияние на когнитивные функции, а также усталость глаз. Светодиоды, в свою очередь, обладают высокой яркостью, что вызывает слепящий эффект и имеют провал в сине-зеленой области спектра, что также может отрицательно сказываться на человеке. Решить данную проблему может использование светопроводящих панелей или LGP (Light Guide Plate) изготовленных из прозрачного материала (акрил, поликарбонат и т. д.), с нанесенной системой микролинз, рассеивающих свет. Источники света в этом случае расположены по краям панели, что предотвращает слепящий эффект [3].

В связи с этим, целью данной работы является создание прототипа интеллектуальной системы освещения на основе светопроводящих панелей для комплексного решения проблем существующих осветительных установок.

Первым этапом данной работы является моделирование светильника на основе световыводящей панели. В программе Компас 3D v21 была разработана 3D модель светильника на основе светодиодной ленты RT-A120-8mm 12V White-MIX (9.6 W/m, IP20, 2835) [4]. Управ-

ление светом производится с помощью контроллера SMART-K22-MIX. Схема подключения готового устройства приведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок схема экспериментального осветительного устройства [4]

Полученная модель была распечатана на 3D-принтере Ulti-Steel отечественного производства. Для печати использовался пластик PET-G, достаточно дешевый, стойкий и удобный к печати. 3D-модель и фото рабочего макета показаны на рис. 2.

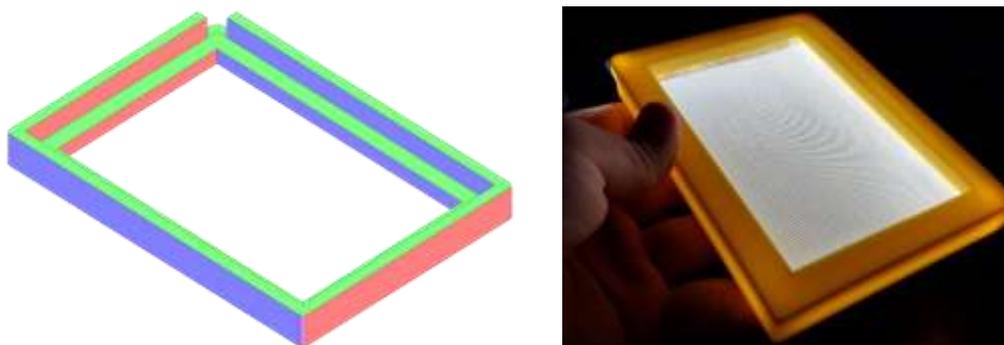


Рис. 2. 3D-модель и макет разрабатываемой системы освещения

Полученные результаты показали, что разработка прототипа ИСО на основе световыводящих панелей представляет собой важный шаг к решению проблем энергоэффективного и безопасного света, обеспечивая равномерное распределение освещения и минимизируя слепящий эффект. Моделирование и создание 3D-модели светильника с использованием доступных материалов демонстрируют практическую применимость предложенного подхода. В дальнейшем, внедрение технологий компьютерного зрения в реализацию данной системы может значительно повысить эффективность освещения и улучшить условия труда и жизни человека.

Список литературы

1. Yi Tan, Penglu Chen, Wenchi Shou, Abdul-Manan Sadick Digital Twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM // Energy and Buildings. – 2022. – Vol. 270. – 112271.
2. Santiprapan P., Sengchuai K., Jindapetch N., Saito H., Booranawong A. Development of an adaptive device-free human detection system for residential lighting load control // Computers & Electrical Engineering. – 2021. – Vol. 93. – 107233.
3. Тризна Е. Светодиодный светильник на основе световыводящих панелей для комфортного освещения [Текст: электронный] // Кванториум Томск: сайт. – 2024. – URL: <https://kvantoriumtomsk.ru/svetodiiodsvet> (дата обращения: 15.11.2024).
4. Светодиодная лента RT-A120-8mm 12V White-MIX(9.6 W/m, IP20, 2835, 5m) (Arlight, Изменяемая ЦТ) 013126(2) [Электронный ресурс] // arlight.rus URL: <https://arlight.ru/catalog/product/013126-2/> (дата обращения: 23.10.24).

ПРОБЛЕМА ЗАЖАТИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ

Харитонов А.В.

Структурное подразделение ДТ Кванториум, «Центр технического творчества»,
г. Омутнинск, Кировская область, Россия
e-mail: haritonovav1307@gmail.com

Проблема: зажимные устройства на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) предназначены для фиксации деталей с ровными гранями. Однако если попытаться закрепить в них деталь криволинейной формы, это может привести к неравномерному зажатию и риску вылета или поломки детали. Это связано с тем, что зажимные устройства не способны обеспечить надёжное удержание деталей сложной формы.

Для решения этой проблемы я разработал устройство (фрактальные тиски), состоящее из набора щек, чьи зацепляющие поверхности формируются параллельными цилиндрическими сегментами. Эти сегменты могут вращаться вокруг своих геометрических осей и располагаются попарно бок о бок в двух посадочных местах, находящихся в аналогичных, но более крупных цилиндрических сегментах. При этом выступы симметричны относительно вертикальной средней плоскости этих больших сегментов.

Основные функции фрактальных тисков рис. 1:

- Захват и фиксация предметов различной формы и размера: универсальный робозахват способен надёжно удерживать предметы разных форм и размеров благодаря возможности изменения геометрии поверхности захвата в соответствии с формой объекта.
- Адаптация к объекту: поверхность захвата обладает низкой жёсткостью, что предотвращает повреждение объекта и позволяет ей деформироваться, идеально соответствуя контуру целевого объекта.
- Удобство в работе с разными материалами: благодаря сотовой структуре и растяжимой сетчатой структуре поверхность захвата способна адаптироваться к разным материалам, обеспечивая надёжный захват и удержание объектов с хрупкими поверхностями.

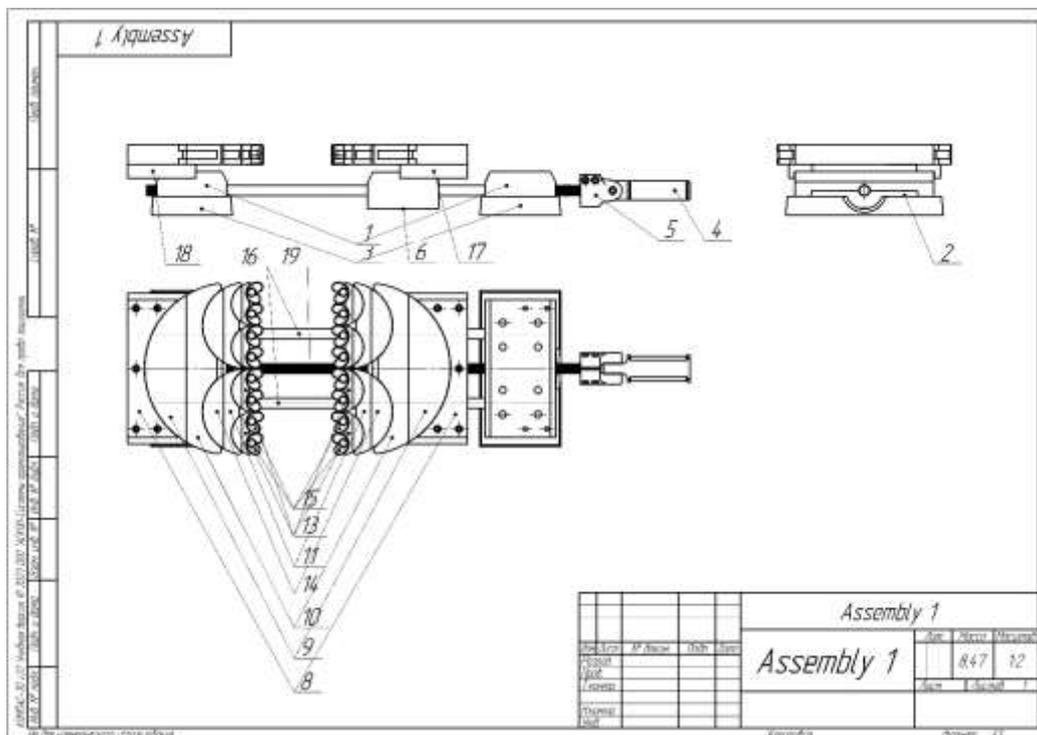


Рис. 1. Фрактальные тиски сборочный чертеж

Фрактальные тиски – это инструмент, используемый в различных отраслях народного хозяйства, таких как машиностроение, авиационная промышленность, судостроение, автомобилестроение, железнодорожный транспорт, энергетика, нефтегазовая промышленность, химическая промышленность, производство электроники, строительство. Фрактальные тиски позволяют зажимать и фиксировать предметы различной формы и размера, включая круглые, квадратные и прямоугольные, благодаря независимым движениям каждого сегмента тисков. Это делает их удобными и эффективными для работы с разными материалами, такими как металл, дерево, пластик и стекло. Лёгкость и прочность достигаются за счёт использования стали, алюминия и пластика, а возможность выбора различных размеров и форм позволяет адаптировать инструмент к потребностям пользователя.

Таким образом, фрактальные тиски являются перспективным направлением в области машиностроения и обработки материалов, поскольку они обеспечивают высокое качество и точность при работе с деталями сложной формы.

ПРИЛОЖЕНИЕ «РАЗВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ»

Ананин А.И., ученик 8 класса МБОУ СОШ № 49, г. Томск

Федин А.Д., ученик 6 класса МАОУ СОШ № 50, г. Томск

Бударев К.А., ученик 8 класса МБОУ СОШ № 49, г. Томск

Чащин В.М., ученик 8 класса МБОУ СОШ № 49, г. Томск

Детский технопарк «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26

e-mail: budarev0608@gmail.com

Руководитель: Михайлов Д.В., педагог дополнительного образования Детского технопарка «Кванториум», г. Томск

John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.

Статья Геймификация: как игровая индустрия меняет образование / <https://education.forbes.ru/expertise/tpost/ovf7cfr0o1>-Использование виртуальной реальности (VR) в образовательных процессах не ограничивается лишь военной или медицинской сферами, но также активно внедряется в школы. Виртуальная реальность предоставляет студентам возможность взаимодействовать друг с другом в трехмерной среде, а также участвовать в виртуальных экскурсиях в музеи, исследовать Солнечную систему и совершать путешествия во времени в различные эпохи. Особую пользу VR может предоставить студентам с особыми потребностями, включая детей с аутизмом. Исследования показывают, что VR может стать мотивирующей платформой для безопасной практики социальных навыков, в том числе для детей с расстройствами аутистического спектра. Некоторые компании разрабатывают сценарии виртуальной реальности, которые помогают детям развивать такие навыки, как указание пальцем, зрительный контакт и построение социальных связей.

Наша цель – создать виртуальную лабораторию (рис. 1), в которой пользователи смогут выполнять различные задания, направленные на развитие логического мышления и фантазии. В рамках лаборатории пользователи смогут комбинировать несколько различных предметов для создания уникального объекта, обладающего свойствами обоих изначальных предметов. Виртуальная лаборатория будет содержать различные игровые режимы, позволяя пользователям экспериментировать с созданием объектов.



Рис. 1. Виртуальная лаборатория

Для реализации проекта мы изучили аналоги игры «Rick and Morty: Virtual Rick-ality», заимствовав систему создания предметов, а также игру «Job Simulator», из которой были адаптированы механики выполнения заданий. Наша команда разработала демонстрационную версию приложения «Виртуальная лаборатория» на игровом движке «Unreal Engine» [2], а для создания 3D-моделей использовала графический редактор «Blender» [1].

В начале игры пользователь попадает в локацию «Лаборатория», где его сопровождают звуковые эффекты при тренировке, усиливающие погружение в игровую атмосферу. Рядом с рабочей зоной расположены две платформы, представляющие собой мастерскую, на которой можно собрать новый предмет из различных компонентов. Также имеется стол для выбора предметов, используемых в процессе крафта.

Мы реализовали список заданий, который позволит игрокам легко ориентироваться в механике игры и осваивать её правила.

Список литературы

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ-ИГРА «ТОГДА И СЕЙЧАС»

Бронников И.П.¹, Бронников А.П.², Плашевский М.В.³

¹ученик 10 класса МАОУ СОШ № 3

²ученик 8 класса МАОУ СОШ № 3

³ученик 8 класса ГСЛ

ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26

e-mail: bronnikovvanja@gmail.com;

Руководитель: Михайлов Д.В., педагог

ДО ДТ «Кванториум», г. Томск

Учебный процесс неразрывно связан с работой с информацией, что требует от нас умений находить надежные источники, систематизировать данные и эффективно их представлять. Игры предлагают разнообразные элементы, что делает их эффективными для передачи информации и достижения образовательных целей. Важным понятием является «геймификация» [1], означающая применение игровых элементов для повышения вовлеченности, мотивации и интереса у обучающихся. Геймификация особенно актуальна в школьном, дошкольном и внеучебном обучении. Основные преимущества ее внедрения в образовательный процесс включают:

- Повышение мотивации и создание комфортной образовательной атмосферы.
- Увеличение успеваемости учеников.
- Улучшение запоминания учебного материала.

Некоторые компании, например, Deloitte, активно используют геймификацию для обучения сотрудников через онлайн-игры, которые помогают новым работникам освоить рабочие инструменты, такие как MS Office, и дают советы по взаимодействию с клиентами.

Наша задача – создать несколько игровых уровней с заданиями, способствующими развитию логики, памяти и навыков решения головоломок. Например, в одной из локаций ученикам нужно будет запомнить исторические даты и события. Решение загадок не только делает обучение более увлекательным, но и развивает критическое мышление и креативность, побуждая игроков использовать свои логические и аналитические навыки.

Наша команда уже создала демонстрационную версию (рис. 1) приложения на игровом движке Unreal Engine 4.27 [2] и использовала графический редактор Blender [3] для разработки 3D-моделей. Уникальной особенностью нашего проекта является возможность перемещения во времени. Игрокам будет предоставлена возможность путешествовать через разные исторические эпохи, решая головоломки, связанные с ключевыми событиями и артефактами. Это позволит не только развивать память и логическое мышление, но и углублять исторические знания.



Рис. 1. Демонстрационная версия

Научные исследования показывают, что активное участие в обучении, включая геймификацию и решение головоломок, существенно увеличивает восприятие информации. Результаты показывают, что активные методы обучения способствуют лучшему усвоению и запоминанию, а игровые элементы формируют положительное отношение к учебе. Поэтому наша игра не только развлекает, но и выполняет важную образовательную роль, делая обучение увлекательным и запоминающимся.

Список литературы

1. Статья Геймификация: как игровая индустрия меняет образование / <https://education.forbes.ru/expertise/tpost/ovf7cfr0o1-geimifikatsiya-kak-igrovaya-industriya-m>.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.
3. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ «СИМУЛЯТОР МАШИНИСТА VR»

Верлинский М.В.¹, Тюрин Н.О.², Святный М.А.³

¹МАОУ Гимназия № 13, 11А класс, г. Томск

Тел. +79526863613

e-mail: demiron75@gmail.com

²студент группы 434, ОГБПОУ ТТИТ, г. Томск

тел. 8(923)406-25-80

³ученик 10 класса, МАОУ Гимназия № 56, г. Томск

Руководитель: Михайлов Д.В.,

педагог дополнительного образования Детского технопарка «Кванториум», г. Томск

Летом 2024 г. РЖД представили первую беспилотную «Ласточку», курсирование которой планируется в Москве. В недалеком будущем такие технологии достигнут всех регионов России, однако при текущих темпах производства это произойдет не скоро. Профессия машиниста по-прежнему очень востребована на рынке. Университеты проводят профильное обучение по этой специальности, а также есть отдельные курсы для машинистов электропоездов метрополитена. Симуляторы VR позволяют пользователям получить опыт, максимально приближенный к реальному, что поможет проекту занять свое место в нише.

Симулятор Машиниста VR (рис. 1) – это инновационный проект, позволяющий пользователям погрузиться в роль машиниста поезда с помощью технологий виртуальной реальности (VR). Проект направлен на создание максимально реалистичного опыта управления поездами.



Рис. 1. Симулятор машиниста VR

У проекта есть ряд особенностей Реалистичная графика: Виртуальные пейзажи и интерьеры вагонов созданы с высокой детализацией, что позволяет полностью окунуться в атмосферу железнодорожного транспорта.

- Разнообразие маршрутов: Пользователи могут выбирать различные маршруты по всему миру, включая как реальные, так и вымышленные локации.
- Управление поездом: Интерфейс управления имитирует настоящие приборы и системы управления локомотива, обеспечивая полное погружение в процесс вождения.
- Интерактивность: Возможность взаимодействовать с различными элементами кабины машиниста, такими как переключатели, рычаги и дисплеи, добавляет реализма и глубины игровому процессу.

- Режимы игры: помимо основного уровней, доступны дополнительные режимы, такие как обучение, испытания и свободный полет, где можно исследовать мир без ограничений.
- Поддержка VR-шлемов: Полная совместимость с популярными VR-устройствами для максимального эффекта присутствия.

Проект ориентирован на широкую аудиторию, включающую любителей железных дорог, энтузиастов VR-технологий и тех, кто интересуется транспортными симуляторами. Он также может быть полезен для образовательных целей, позволяя изучать основы управления железнодорожным транспортом в безопасной среде.

Симулятор Машиниста VR предлагает уникальный опыт, сочетающий в себе увлекательный игровой процесс и высокую степень реализма, делая его идеальным выбором для всех, кто мечтает почувствовать себя настоящим машинистом. Виртуальный проект сделан с помощью графического редактора Blender [1], а также с помощью игрового движка Unreal Engine 4 [2].

Задачами проекта являются до конца 2024 года:

1. Изучение приложений для программирования
2. Написать код для игры.
3. Разработать и протестировать игру

Список литературы

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОТЛАДОЧНЫХ И ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ «ROBOSET»

*Гужихин И.А., 10 класс, ОГБОУ «Томский физико-технический лицей»,
e-mail: ivanguzhihin@gmail.com*

*Руководитель: Бузынина Е.С., педагог дополнительного образования
АНО ДО «Детский технопарк «Кванториум», г. Томск,
e-mail: kamardina1996@gmail.com*

Инструмента для проведения отладочных и электромонтажных работ «ROBOSET» разрабатывается в рамках проекта, реализуемого в АНО ДО «Детский технопарк «Кванториум».

Одним из этапов работы над инструментом, связанным с робототехникой или микроэлектроникой, является тестирование как отдельных составляющих, так и всего устройства в целом. В ходе этого этапа часто требуется прибегнуть к пайке некоторых элементов, измерить фактическое напряжение на элементах питания, силу тока в цепи, а также редактировать программный код. Помимо этого, при проверке на брак некоторых электронных компонентов зачастую может быть полезен лабораторный блок питания с регулируемым выходом напряжения и силы тока (рис. 1), поскольку разным компонентам требуются разное входное напряжение.



Рис. 1. Лабораторный блок питания

Необходимый набор инструментов, обеспечивающих описанное выше тестирование, должен включать в себя: компьютер, лабораторный блок питания, вольтметр, амперметр и паяльник. Постоянно иметь при себе данный набор инструментов не всегда возможно, поэтому было решено объединить весь их основной функционал в одно компактное устройство – универсальный инструмент RoboSet.

Первым этапом работы над проектом стал анализ рынка потенциальных конкурентов, результатом которого является таблица сравнения основных характеристик существующих устройств с предполагаемыми характеристиками RoboSet [1]. Так как на рынке не представлено ни одного устройства, совмещающего необходимые инструменты, проводилось сравнение отдельных частей универсального инструмента с устройствами, выполняющими схожие функции. На основе анализа потенциальных конкурентов были сформулированы требования к функционалу будущего устройства.

Следующим этапом работы над инструментом стал подбор необходимых электронных комплектующих и создание принципиальной схемы их подключения в среде EasyEda. За основу был взят одноплатный компьютер Orange Pi Zero (рис. 2). Паяльная станция контролируется отладочной платой Arduino Nano R3.



Рис. 2. Одноплатный компьютер Orange Pi Zero

Кроме того, на основе страницы с перечнем основных плат Arduino и модулей к ним [3], был сформирован полный перечень необходимых электронных комплектующих с указанием их стоимости и ссылками на популярные маркетплейсы [2]. Исходя из неё была рассчитана ориентировочная себестоимость комплекта электроники для сборки устройства, составляющая 15500 руб.

Вывод: универсальный инструмент RoboSet сочетает в себе весь необходимый функционал для проведения электромонтажных и отладочных работ.

Список литературы

1. Таблица анализа рынка потенциальных конкурентов – [Электронный ресурс] – <https://docs.google.com/document/d/1wzPGCmzNVPJj7vNa8QufQUmmiojkOc3S-aZaJ4pyLNE/edit?usp=sharing>.
2. Перечень необходимых электронных комплектующих с указанием их стоимости – [Электронный ресурс] – https://docs.google.com/document/d/1VHsmNVaIpqQB8ZwcCTKRO_L4CgpMU8UkZmel7sk4qCo/edit?usp=sharing.
3. Страница со ссылками на Arduino и модули – [Электронный ресурс] – https://alexgyver.ru/arduino_shop/.

СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА МХОМ

Вершинский А.П.¹, Саломатов И.В.², Григорьев К.А.³

¹МБОУ «СОШ № 6» г. Ачинска, 9 класс,

e-mail: veralktif@gmail.com

²МАОУ «СОШ № 17» г. Ачинска, 9 класс,

e-mail: salomatov.ilia@mail.ru

³МОУ «Лицей № 1» г. Ачинска, 10 Роснефть-класс,

e-mail: grigorj3vc@yandex.ru

Руководитель: Дутов А.О.

Филиал АНО «Красноярский детский технопарк «Кванториум» в городе Ачинске

Экология

Загрязнение воздуха – глобальная проблема современного мира, которая беспокоит многих. От качества воздуха зависит масса вещей, начиная от длительности жизни маленьких насекомых, заканчивая здоровьем и продолжительностью жизни человека. Зачастую в помещениях воздух находится не совсем в удовлетворительном состоянии, множество пыли, которую мы не видим, лёгкие крупинки мусора и многое другое преобладает в воздухе, хотя на первый взгляд кажется, что он кристально чист. Среднее ежегодное значение: в обычной трехкомнатной квартире образуется примерно до 40 килограммов пыли. Учитывая, что человек ежедневно вдыхает около 12 тысяч литров воздуха, в одном литре которого содержится до 500 тысяч пылинок, то количество пыли, поступающей в наши дыхательные пути, просто огромно.

Мох сфагнум. Сфагнум – болотный мох, впитывает воду всем телом. Для него характерны особые водозапасающие клетки на листьях и стебле (прозрачные, мёртвые, полые с отверстиями); клеточная стенка укреплена утолщениями. Водозапасающие клетки окружены более мелкими зелёными фотосинтезирующими клетками, которые объединены в единую сеть. Имеются ножка и коробочка со спорами. В воздушно-сухом состоянии сфагновые мхи способны поглотить воды примерно в 20 раз больше собственной массы, что в 4 раза превосходит возможности гигроскопической ваты. Для нашего проекта это полезно тем, что сфагнум будет поддерживать комфортную влажность воздуха, поглощая излишнюю влагу, когда в помещении сыро, и возвращая влагу, когда воздух сухой.

Сфагнум обладает антибактериальными свойствами. Они объясняются наличием в нём сфагновых кислот – сильных антисептиков. Сфагнум дезинфицирует воздух и почву, препятствуя распространению заболеваний человека и растений. Он создает кислую среду, препятствующую деятельности многих микроорганизмов.



Рис. 1. Мох сфагнум

Другие применения мха:

- В медицине: вата.
- В цветоводстве: используется для создания влажных экосистем.
- В торфообразовании: сфагнум разрастается верхней частью, при этом стебли растения ежегодно постепенно отмирают, образуя значительный слой торфа.
- Биологические индикаторы: мох сфагнум аккумулирует тяжёлые металлы, оксиды серы, азота и другие вещества.

Свойства задерживать пыль, в процессе поглощая её и аккумулировать тяжёлые металлы мы будем использовать для очищения воздуха в помещениях.

Система фильтрации воздуха благодаря мху сфагнум оснащается «умным» контроллером на базе платы Arduino, который, в свою очередь, делает работу системы бесперебойной и автономной, он же отвечает за все процессы и показатели. Контроллер является довольно универсальным, может использоваться не только в нашей установке, но и в теплицах, обеспечивая контроль и полив растений, облегчая труд человека.

Система выполняет 4 функции:

- очистка воздуха от крупной и мелкой пыли;
- поддержание комфортной влажности воздуха в помещении;
- обеззараживания помещения;
- выработка кислорода.

Работа системы складывается из нескольких этапов:

Первый этап очистки воздуха – это попадание воздуха из помещения с помощью вентилятора в нашу систему. Небольшие вентиляторы в нашей системе создают определённую настраиваемую небольшую тягу воздуха, достаточную для его фильтрации в системе.

Вторым этапом является начало процесса фильтрации воздуха мхом. Благодаря расположению мха в несколько уровней в системе фильтрации будет происходить тщательнее. С точки зрения науки фильтрация воздуха в нашей системе довольно интересна, по сравнению с аналогами на бумажных и тканевых фильтрах, которые в разы больше требуют энергии, в разы больше стоят и требуют хотя бы ежемесячного обслуживания.

И заключающим третьим этапом становится выход чистого и комфортного воздуха с помощью второго вентилятора. Казалось бы, довольно немудрёные процессы, всё предельно просто и действенно. Ведь наша система за час пропускает через себя 70 куб. м. воздуха (в зависимости от скорости вращения вентиляторов). Мы провели эксперимент, выяснили, что с такой пропускной способностью половина крупной и мелкой пыли, попадающей с воздухом в систему, ликвидируется из помещения за один проход воздуха, а оставшаяся часть, то есть 50 % устранилась, снова попав в систему спустя некоторое время, так как работа нашей системы предусмотрена на постоянной основе, без отключений.

В планах: разработать современный дизайн конструкции и сделать более эффективное увлажнение, реализовать сборку системы более качественно. Для этого потребуются ресурсы: для дизайна – пластик, оргстекло, для эффективного увлажнения потребуются совершенствование полива.

Провести долгосрочные исследования по эффективности работы установки. Систему можно использовать в качестве наглядного пособия очистки воздуха, например, для школьников и дошкольников. Думаем над созданием данных систем в масштабах производства, так как считаем, что иметь такую систему в квартирах, в офисах, объектах образования и т. п. будет очень полезно, в первую очередь, для поддержания здоровья человека, на что мы и делаем большой упор.

Список литературы

1. Проект «Оценка степени запыленности отдельных комнат своих квартир»: <https://infourok.ru/proekt-ocenka-stepeni-zapylennosti-otdelnyh-komnat-svoih-kvartir-6811568.html>.
2. Сфагнум – Википедия: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфагнум>.
3. Сфагнум: лекарственное растение, применение, отзывы, полезные свойства, противопоказания: <https://lektrava.ru/encyclopedia/sfagnum/>.
4. Мхи индикаторы. Мохообразные как биологические индикаторы: <https://pdoshka.ru/hood/mhi-indikatory-mohoobraznye-kak-biologicheskie-indikatory-i-1/>.
5. Тканевые фильтры воздуха: <https://studfile.net/preview/9366235/page:21/>.

ДЕТЕКТОР ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Виншель В.С., Ноженко К.Р., Хворостов Е.Д., Шмидт Г.Е.

Руководитель: Игнатъев Д.П.

Филиал АНО ДТ «Красноярский Кванториум» в г. Ачинске

Проблема

В современном мире с ростом числа мест массового пребывания людей, таких как аэропорты, стадионы, торговые центры и общественные мероприятия, возрастает необходимость обеспечения безопасности и контроля за поведением посетителей. Традиционные методы видеонаблюдения, основанные на наблюдении операторов, становятся менее эффективными из-за огромного объема поступающей информации. В связи с этим возникла потребность в создании автоматизированных систем, способных анализировать эмоциональное и психофизическое состояние человека, чтобы своевременно выявлять потенциальные угрозы.

Современные технологии машинного обучения позволяют создавать алгоритмы, способные анализировать мимику, жесты и другие поведенческие характеристики человека, что открывает новые возможности для автоматизации процесса мониторинга. Тем не менее, существующие системы пока недостаточно эффективны для полной замены человеческого фактора, поскольку они требуют значительных ресурсов и зачастую ограничены в своих возможностях. Поэтому необходимо разработать систему, которая сможет автономно и точно определять эмоциональное состояние человека и передавать информацию оператору для принятия дальнейших мер.

План исследования

Для достижения цели разработки эффективной системы распознавания эмоций был составлен следующий план действий:

1. Анализ:
 - Провести обзор существующих решений и выявить их сильные и слабые стороны.
 - Оценить текущее состояние проблемы и определить ключевые аспекты, требующие улучшения.
 - Собрать данные об особенностях поведения людей в различных ситуациях и условиях.
2. Моделирование:
 - Создать модели поведения человека в разных эмоциональных состояниях.
 - Определить оптимальные параметры для моделирования и алгоритмизации процессов.
 - Проанализировать возможные сценарии использования системы и её интеграции в реальные условия.
3. Разработка:
 - Построение архитектуры системы, включающей набор нейросетевых моделей и необходимых датасетов.
 - Обучение моделей на основе собранных данных и тестирование их эффективности.
 - Интеграция разработанных компонентов в единое приложение.
4. Тестирование:
 - Проверка работоспособности системы в реальных условиях.
 - Выявление возможных ошибок и недочетов.
 - Оптимизация производительности и точности системы.

Анализ ситуации

Эмоции играют ключевую роль в поведении человека, особенно в стрессовых или конфликтных ситуациях. Современные технологии машинного обучения открывают широкие перспективы для создания систем, которые могут автоматически распознавать эти эмоции и

помогать предотвращать нежелательные инциденты. Такие системы могут применяться не только в сфере безопасности, но и в других областях, таких как здравоохранение, образование и развлечения.

Например, скрытые системы досмотра, оснащённые нейросетевыми моделями, могут не только обнаруживать запрещённые предметы, но и анализировать поведение людей, что позволит оперативно реагировать на подозрительные действия. Игровые платформы и интерактивные приложения также могут использовать распознавание эмоций для адаптации контента под настроение пользователя, делая взаимодействие более персонализированным и увлекательным.

Существующие решения

На рынке уже существуют различные программные продукты, направленные на распознавание эмоционального состояния человека. Рассмотрим некоторые из них:

1. Программа FaceReader

Интерфейс: хорошо визуализированная программа с возможностью просмотра гистограмм и диаграмм.

Количество эмоций: 7 (радость, грусть, гнев, нейтральное, страх, удивление, отвращение).

Кол-во параметров: 1 нейросеть.

Качество: Версия FaceReader 7.1 получила оценку 93 %.

Преимущества:

- Работает с видео.
- Данные можно экспортировать в другие программы.

Недостатки:

- Зависимость результатов от расы человека.
- Низкая точность распознавания у детей...

2. EmoDetect

Интерфейс: Подробный интерфейс с множеством различных выводов

Количество эмоций: 7

Кол-во параметров: 3 нейросети.

Преимущества:

- Может построить график преобразования эмоций, проверяемого во времени
- формирует отчет о результатах обработки видеофайлов

Недостатки:

- Система не определяет лица в профиль.

Для реализации системы распознавания эмоций было решено использовать современные методы машинного обучения и компьютерного зрения. Основными компонентами системы являются:

1. Сбор данных: для обучения нейросетевой модели необходимы большие объемы размеченных данных, содержащих изображения лиц и позиций людей с различными эмоциями. Эти данные были собраны из открытых источников, а также созданы путем съемки добровольцев в лабораторных условиях.

2. Предобработка данных: перед подачей изображений на вход нейросети проводится предварительная обработка, включая нормализацию яркости, контраста и удаление шумов.

3. Архитектура нейросети: в качестве основы была выбрана архитектура сверточной нейросети (CNN), которая зарекомендовала себя как одна из наиболее эффективных для задач компьютерного зрения.

4. Обучение модели: процесс обучения включает несколько этапов, начиная с инициализации весов и заканчивая настройкой гиперпараметров. Использовались стандартные методы оптимизации, такие как градиентный спуск и Adam. Для борьбы с переобучением применялись регуляризация и дропаут.

5. Тестирование и валидация: после завершения обучения модель тестировалась на независимых наборах данных, чтобы оценить ее точность и надежность. Были проведены кросс-валидации для оценки стабильности модели и выявления возможных областей для улучшений.

Результаты и выводы

После проведения всех этапов разработки и тестирования система показала высокую точность распознавания основных эмоций, достигнув уровня выше 80%. Основные результаты представлены ниже:

- Радость: 95 %
- Грусть: 83 %
- Гнев: 90 %
- Нейтральное: 82 %
- Страх: 87 %
- Удивление: 85 %

Эти результаты свидетельствуют о том, что созданная система обладает достаточной точностью для применения в реальных условиях. Однако следует отметить, что эффективность системы зависит от ряда факторов, таких как качество исходных данных, освещение и угол обзора камеры.

Перспективы развития

Дальнейшее развитие проекта предполагает улучшение точности распознавания за счет внедрения дополнительных методов предобработки данных и использования более сложных архитектур нейросетей. Также планируется расширение функционала системы, добавляя возможность распознавания дополнительных эмоций и состояний, таких как скука, разочарование и т. д.

Кроме того, перспективным направлением является интеграция системы с другими технологиями, такими как биометрические датчики и системы анализа речи, что позволит создать комплексную платформу для мониторинга эмоционального состояния человека в реальном времени.

Заключение

Разработанная система распознавания эмоций представляет собой важный шаг вперед в области обеспечения безопасности и управления массовыми событиями. Она демонстрирует высокий потенциал для применения в различных сферах жизни, обеспечивая своевременное реагирование на потенциально опасные ситуации и повышая общий уровень комфорта и безопасности в общественных местах.

ПРИЛОЖЕНИЕ «ДРОН-КОНСТРУКТОР»

Гончаров М.В.¹, Попков М.А.², Вялов А.М.³

¹МАОУ СОШ № 34, 10 класс

e-mail: Gon4arowmack@yandex.ru;

²МАОУ СОШ № 37, 11 класс,

e-mail: mpopkov13@gmail.com;

³МАОУ гимназия №55, 11 класс,

e-mail: artyom2007maksimovich@gmail.com;

Руководитель: Михайлов Д.В.

педагог ДО ДТ «Кванториум», г. Томск

Как развитие отрасли беспилотных летательных аппаратов влияет на образовательную среду в России? Что нового появилось в программах и когда работа с дронами станет обязательной для всех учеников страны?

Что такое дрон? Дрон (рис. 1) – это самая распространённая разновидность беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА). Данное устройство, имеющее двигатели, лопасти, батарею и полётный контроллер выполняет много различных функций и помогает человеку. Например, дроны используются для разведки местности, в аграрной сфере – для анализа состояния растений и почвы, в службах доставки и не только.

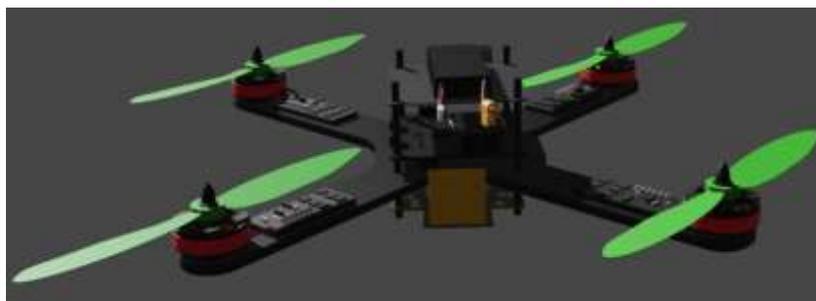


Рис. 1. 3D-модель Самосборного Дрона

С 1 января 2024 г. в России действует национальный проект «Беспилотные авиационные системы». Он предполагает развитие отрасли работы с БПЛА, создание инфраструктуры для отечественного производства данного оборудования. Но для того, чтобы создать в России эффективный и качественный рынок дронов, необходимы специалисты, которые будут проектировать новые модели и инспектировать их производство.

Для подготовки кадров важно ознакомить школьников с сферой беспилотников. Так, согласно сообщению Министерства Просвещения РФ, в 2024 году более 500 школ и 30 ссузов страны были обеспечены оборудованием для обучения школьников работе с дронами. В рамках нового предмета, Основы безопасности и защиты Родины, школьники 8–9 классов получают навыки работы с БПЛА.

Из этого стоит сделать вывод, что скоро во всех школах РФ появится оборудование в виде дронов и их комплектующих. По сути, уже сейчас изучение данной сферы для школьников обязательно, и вскоре мы увидим это на практике.

Также, мы можем сделать вывод о том, что развитие этой сферы очень сильно повлияло на отечественное образование. При качественном обучении получится привлечь большое количество специалистов.

Наш проект «Приложение Дрон-конструктор» создан на игровом движке Unreal Engine 4 [1] в операционной среде Blueprint's (рис. 2), а также с помощью графического редактора Blender [2] может помочь образовательным учреждениям в обучении по программам работы

с БПЛА с наименьшими затратами средств. Суть проекта заключается в приложении для компьютера, в котором каждый желающий может обучиться разборке и сборке дрона, узнать информацию о его комплектующих и проверить свои знания, самостоятельно разобрав и обратно собрав модель самосборного дрона.

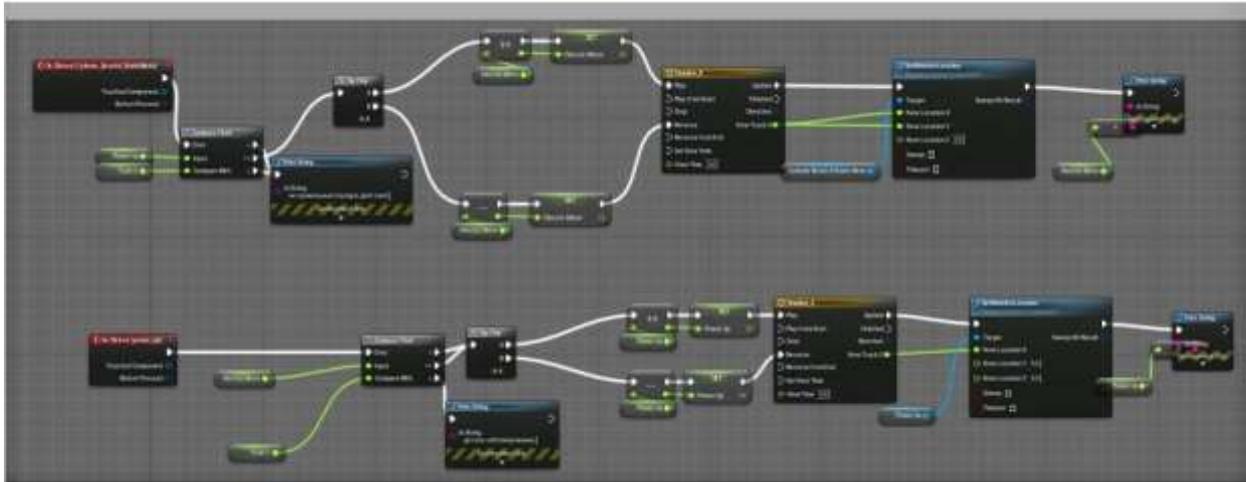


Рис. 2. Blueprint's

Проекты такого типа могут значительно улучшить систему образования. Ученик может обучаться разборке и сборке, а также практиковаться столько, сколько это необходимо, без риска сломать физические комплектующие. Это поможет быстро и легко начать такие уроки во всех образовательных организациях страны.

Список литературы

1. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.
2. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.

УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ «NOTHING WATER»

Демин Д.А.

Научный руководитель Хайруллин А.Р.

МАОУ школа «Перспектива»

АНО ДО детский технопарк «Кванториум», Томская область, г. Томск

Качество используемой воды, оказывает значительное влияние не только на здоровье живых организмов, но и на состояние экосистемы в целом. На этот показатель воздействуют абиотические, биотические и антропогенные факторы, что повышает востребованность постоянного контроля и мониторинга состояния водоемов. В связи с этим, разработка доступных и эффективных систем для оценки качества воды приобретает особую ценность. Установка «Nothing Water» предлагает решение этой задачи, предоставляя простое и надежное устройство для тестирования качества воды, которое можно использовать как в домашних условиях, так и на производственных площадках. Это обеспечивает эффективный контроль и предотвращает заболевания, связанные с потреблением непригодной для питья воды.[1]

Целью проекта является разработка и производство установки, которая позволит проводить быстрое и точное тестирование качества воды для обеспечения безопасности ее употребления с использованием установки на базе контроллера Arduino Nano.

Нами поставлены следующие задачи:

1. Помощь в решении экологических проблем водоёмов.
2. Помощь в контроле качества воды на объектах, где используется скважина.
3. Предоставление данных для гидрологической карты.

Загрязнение водных ресурсов представляет собой сложный и многофакторный процесс, способствующий деградации экосистем и впоследствии ухудшению здоровья человека.

Виды загрязнений:

1. Химическое загрязнение

Химическое загрязнение воды связано с присутствием токсичных веществ, таких как тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий), пестициды и органические растворители. По данным исследования, проведенного в 2020 году, уровень концентрации свинца в водоемах, расположенных рядом с промышленными зонами, превышает допустимые нормы в 4–5 раз [2]. Тяжелые металлы обладают высокой устойчивостью к биодegradации и могут накапливаться в организмах, обитающих в водоеме.

2. Физическое загрязнение

Физическое загрязнение включает в себя наличие твердых частиц, таких, как пластиковые отходы и осадки. Согласно данным исследования [3], более 9 миллионов тонн пластиковых отходов ежегодно попадают в океаны, что приводит к гибели морских организмов и нарушению экосистем. Микропластик, который образуется при разложении крупных пластиковых объектов, становится частью пищевой цепи, что вызывает потенциальные риски для здоровья человека.[4]

3. Термическое загрязнение

Термическое загрязнение связано с повышением температуры водоемов, что может происходить в результате сброса неохлажденной воды из промышленных предприятий. Исследование, проведенное в 2021 году, показало, что повышение температуры на 2–3 °С приводит к снижению растворенного кислорода и нарушению метаболических процессов у водных организмов [5], а также повышенной эвтрофикации водоема. Это, в свою очередь, угрожает биоразнообразию и устойчивости экосистем.

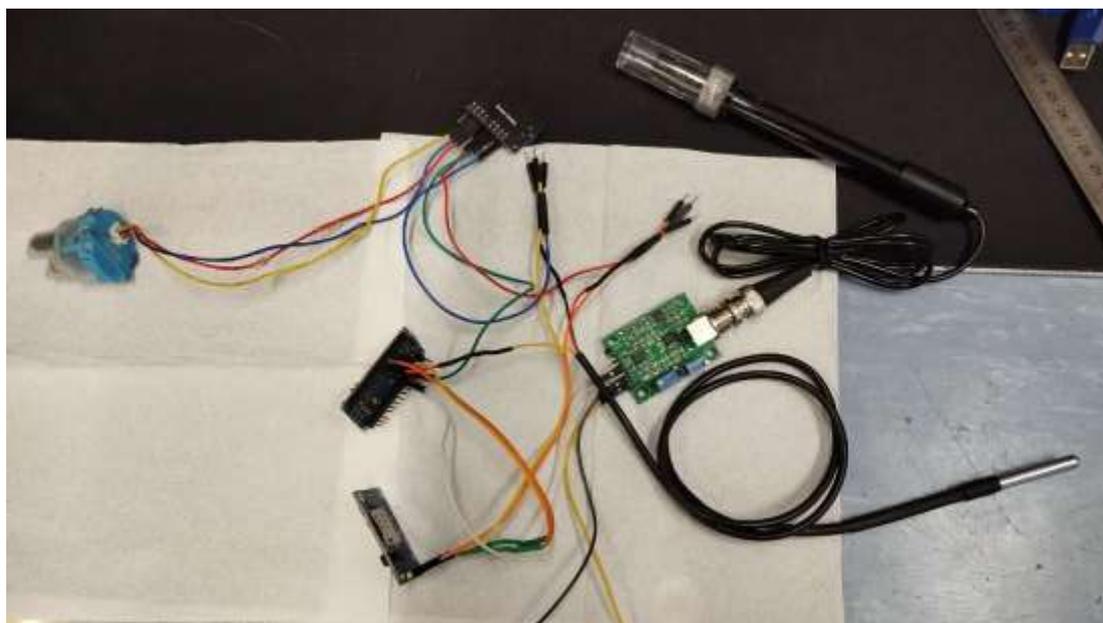


Рис. 1. Прототип Nothing Water

Используемые материалы: В проектной работе были использованы: контроллер Arduino Nano, датчик температуры DS18B20, GSM-модуль SIM800L, датчик PH, датчик мутности, а также провода формата мама-папа, мама-мама, сантехническая труба и силиконовый герметик.

Заключение

Разработка установки «Nothing Water» представляет собой важный шаг в области мониторинга и оценки качества воды, что является критически важным для здоровья человека и сохранения экосистем. Учитывая влияние различных факторов на состояние водоемов, создание доступного и эффективного устройства для тестирования воды позволит не только предотвратить заболевания, связанные с потреблением загрязненной воды, но и способствовать решению экологических проблем. Реализация проекта на базе контроллера Arduino Nano обеспечивает простоту и надежность в использовании, что делает его подходящим как для домашних условий, так и для производственных площадок. Таким образом, установка «Nothing Water» не только отвечает современным требованиям мониторинга качества воды, но и становится важным инструментом для экологического контроля и сохранения водных ресурсов.

Список литературы

1. Романенко А.И. Оценка влияния качества питьевой воды на окружающую среду и здоровье человека. – 2019.
2. Smith J., Brown A., & Taylor R. Heavy Metal Contamination in Urban Waterways: Impacts and Solutions // Journal of Environmental Management. –2020. – 250. – 109–116.
3. Jones L., Roberts K., & Williams M. Waterborne Diseases: A Global Perspective // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2019. – 222(4). – 591–603.
4. Environmental Science & Technology. The Global Plastic Crisis: A Comprehensive Review // Environmental Science & Technology. – 2018. – 52(12). – 6795–6805.
5. Johnson T., Lee H., & Martinez P. Thermal Pollution and Its Effects on Aquatic Ecosystems // Aquatic Ecology. – 2021. – 55(2). – 305–320.

СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ТОМСКА

*Ефремов К.Б., ученик 8 кл.
Детский технопарк «Кванториум», г. Томск,
МАОУ СОШ №34, г. Томск
Тел. +79138884708
e-mail: karimefremov045@gmail.com
Руководитель: Михайлов Д.В.
педагог дополнительного образования
e-mail: denis.mihaylov.9898@mail.ru*

В Детском Технопарке Кванториум разрабатывается приложение дополненной реальности. Приложение ориентированно на работу с музеями и другим культурными центрами в сотрудничестве центром городской среды, приложение работает следующим. Необходимо скачать приложение на мобильное устройство, затем активировав его, навеститесь на специальный маркер, который воспроизводит 3D-модель Троицкого собора и Ипподрома (рис. 1, 2). Для того, чтобы модель здания была максимально реалистична, во виртуальной реальности важная роль отводится детализации объекта и воссозданию точной копии строительного объекта. В приложении создаются необходимые 3D-модели, показывающие копию здания, дающие полное и объективное представление о строении.

В любой плоскости и геометрическом положении необходимо передать максимально достоверную информацию об объекте, чтобы в дальнейшем пользователь мог использовать полученные в приложении навыки при постройке здания в реальной жизни или же изучении строительного объекта.

Любой строительный объект имеет сложную конфигурацию и состоит из отдельных элементов конструкции. Создание 3D-моделей основной части здания подразумевает детальную проработку 3D-модели. Одним из инструментов создания 3D-модели является программа Blender [1]. Благодаря внутреннему инструментарию, такие как экструдирование, работа с вершинами, покраска материалов, позволяет воссоздать цифровую архитектуру. Благодаря также при создании 3D-модели зданий следует учитывать и не забывать требования по масштабированию. К примеру, при создании фасада здания необходимо сначала разобраться из чего же он состоит. В состав фасада входят следующие элементы (рис. 3):

Фриз – это декорированная кайма паркетного покрытия, расположенная между краем паркета и стеной по всему периметру помещения.

Венчающий карниз – (главный карниз) Протяженный непрерывный выступ по верхнему обрезу стены.

Пилястра – это вертикальный выступ стены, обычно имеющий базу и капитель, и тем самым условно изображающий колонну.

Рустовка, рустик (от лат. *rusticus* – простой, грубый) рельефная кладка или облицовка стен камнями с грубо отесанной или выпуклой лицевой поверхностью.

Розетка – мотив орнамента в виде лепестков распустившегося цветка или нескольких листьев, одинаковых по форме, расположенных симметрично и радиально расходящихся из сердцевины.

Сандрик – архитектурный элемент, небольшой профилированный карниз, горизонтальная «полочка» над наличником оконного или дверного проёма. Замковый камень – клин, образующий середину арки. клинообразный камень или кирпич в вершине свода или арки.

Наличник – накладное украшение на лицо предмета, строения или утвари, накладная планка в виде рамы вокруг дверей и окон.

Подоконник – выносной элемент под окном. Кронштейн в архитектуре, как правило, является поддерживающим элементом выступающих частей здания и представляет собой выступ в стене, часто профилированный и декорированный.

Откос – декоративный элемент, часть поля стены, двери или пилястра, заглублённая или имеющая обрамление, по форме близкая к прямоугольнику.

Балюстрада – ограждение (обычно невысокое) лестницы, балкона, террасы и так далее, состоящее из ряда фигурных столбиков, соединённых сверху перилами или горизонтальной балкой; перила из фигурных столбиков.

Колонна – часть архитектурной конструкции, столб цилиндрической формы, деревянный, каменный или металлический. В классической архитектуре поддерживает антаблемент или арку.

Навершие (от латинского *finis* – конец) – это элемент, обозначающий вершину или конец какого-либо объекта, часто выполняемый в качестве декоративного элемента.

Цокольный карниз – это один из видов внешних декоративных карнизов, отделяющий цокольную часть дома от основного фасада.

Межэтажный карниз (разделительный пояс) – это декоративный элемент на фасаде здания, который визуально делит его на части в соответствии с этажностью.

Процесс создания 3D-модели объекта включает в себя создание основы здания с последующей детализацией [2] фасада и остальных частей здания в 3D-пространстве.



Рис. 1. 3D-модель Троицкого собора



Рис. 2. 3D-модель Ипподрома



Рис. 3. Элементы фасада

3D-модели Троицкого собора и Ипподрома позволяют увидеть объемную конструкцию здания и как оно должно выглядеть в реальности, посмотреть и изучить свойства моделей, что в будущем позволит построить по его модели и чертежам архитектурное строение, а также сохранить культурное наследие в цифровом варианте.

Список литературы:

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.
2. Архитектурные формы и стили всех времен. Пересвет-Солтан В.В. – 1932 г. – 450 с.

МАКЕТ ВХОДА НА НАБЕРЕЖНУЮ Г.ОМУТНИНСКА

*Лусникова А., Костылева М., Лусников Т.,
Шаклеина А., Торопов Е., Семакина М.*

*Структурное подразделение Детский технопарк «Кванториум» г. Омутнинска
КОГОАУ ДО «Центр технического творчества»*

Суть проблемы заключается в отсутствии удобного и привлекательного с визуальной точки зрения входа на набережную г. Омутнинска. В связи с этим возникает путаница в понимании того, где именно начинается территория набережной и где она заканчивается. Это не только усложняет навигацию и создает неудобства для посетителей, но и портит общее впечатление от данного пространства. В темноте вход на набережную становится практически незаметным, что создает неудобства для посетителей и ухудшает общее восприятие пространства.

Мы провели опрос среди учащихся ДТ «Кванториум» на тему «Нужен ли вход на набережную пруда в городе Омутнинске?»

Проект обустройства входа на набережную является актуальным по следующим причинам:

Улучшение внешнего вида и привлекательности входа на набережную: это повысит туристическую привлекательность города и создаст более комфортные условия для местных жителей.

Отсутствие путаницы в определении границ набережной: наличие четкого и понятного входа позволит посетителям легко ориентироваться на территории набережной.

Создание безопасной среды, правил поведения и расположения объектов на карте при входе даст возможность ориентироваться в пространстве и почувствовать себя комфортно и уверенно на территории набережной.

Целью проекта – создать макет красивого и функционального входа на набережную, который будет не только радовать глаз местных жителей и туристов днем, но и служить украшением города в темное время суток благодаря подсветке.

Мы нашли множество аналогов в различных городах. Ознакомились с ними и приступили к созданию своей модели.

Макет входа на набережную г. Омутнинска – это визуализация архитектурного проекта, который демонстрирует концепцию и детали будущего сооружения. Наш макет включает в себя различные элементы, такие как: входная группа (арка), декоративные ограждения, скамейки и другие объекты инфраструктуры.

Основные компоненты макета:

Архитектурные формы: Макет входа на набережную представляет собой симметричную конструкцию, в центре которой находится арка прямоугольной формы. От арки располагаются балки, идущие в стороны по *z*-образной оси, а также уменьшаются по мере удаления от центра (рис. 1).



Рис. 1. Макет входа на набережную

1. **Озеленение:** для поддержания симметричности конструкции по бокам сделаны цветники и высажены туи.
2. **Освещение:** для видимости в тёмное время суток сделана подсветка арки.
3. **Малые архитектурные формы:** с левой стороны установлен информационный экран, с помощью него можно увидеть, что находится на набережные города. Продолжением входа будет конструкция – арка в бионическом стиле с параметрическими скамейками для отдыха.

Следующим этапом было печать 3D-моделей. Нам необходимо было разделить модель на отдельные части для печати. Поэтому мы загрузили их в программе 3D-моделирования и выгрузили отдельными файлами различные модели макета. Каждую часть напечатали разными цветами, для лучшего восприятия. После чего приступили к пайке светодиодов.

Когда модель была напечатана, а светодиоды спаяны, мы приступили к сборке всего макета. Чтобы провода не было видно, мы их вывели через отверстие в основании нашего макета. Где в последствии подключили их к плате.

Общая стоимость нашего макета составила примерно 14000 рублей, цену работы мы взяли среднюю, примерно 300 рублей за час работы.

В ходе нашего проекта мы создали макет входа на набережную г. Омутнинска, чтобы жители нашего города и гости могли любоваться ещё одной достопримечательностью. Разработанный нами проект будет гармонично вписываться в окружающую среду и обеспечивать удобный доступ к набережной (рис. 2).

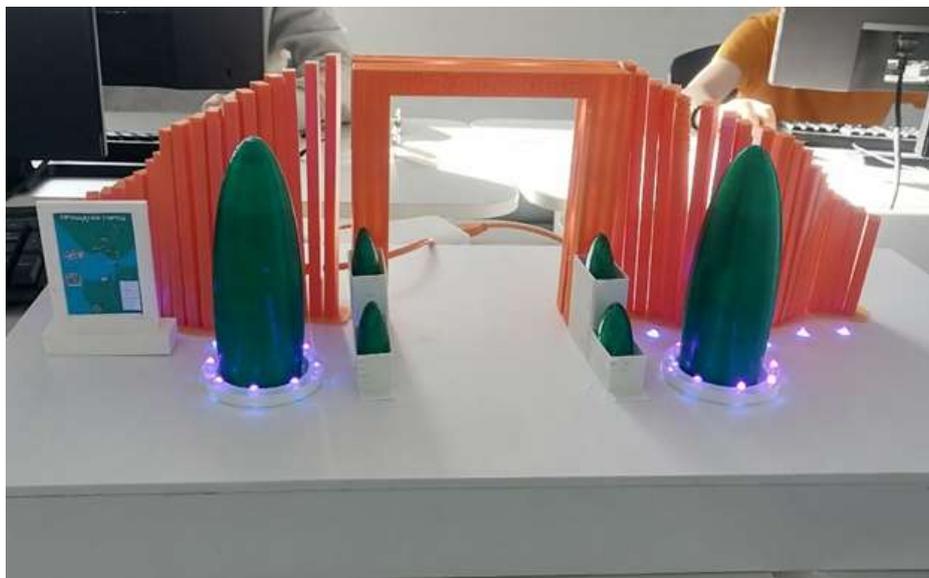


Рис. 2. Макет входа на набережную г. Омутнинска

ДРОНОХОД

Ильченко Н.А., Ромашов С.О.

МАОУ СОШ № 16, Томск, 9 класс, МАОУ Лицей № 51, Томск, 8 класс

*Руководитель: Мотовилов Марк Александрович, ДТ «Кванториум»,
Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники*

Дроноход представляет собой инновационное решение, сочетающее в себе преимущества воздушной и наземной мобильности. В современном мире увеличивается плотность населения и ухудшается дорожная инфраструктура, подобное гибридное средство передвижения имеет высокий потенциал изменить транспортную индустрию и повысить эффективность городской мобильности. Благодаря электрическому приводу, проект экологически эффективен. Также он адаптируется к различным условиям внедорожной среды. Гибридный дрон с автомобильной составляющей призван улучшить городскую мобильность, обеспечивая быстрый, эффективный и экологически устойчивый способ передвижения. Проект стремится предложить решение современных транспортных проблемы, включая пробки и экологическую устойчивость, и предложить перспективное решение для будущего городского транспорта. Гибридный вездеход превосходит традиционные модели благодаря многофункциональности: он перемещается по земле, снегу и воде, ввиду возможности смены модулей (гусеницы, лыжи и лодка) а дрон расположенный на нем доставляет грузы в труднодоступные районы, увеличивая радиус действия. Это позволяет быстро реагировать в экстренных ситуациях, экономит время и использует современные технологии навигации, повышая безопасность и эффективность операций.

Цель:

Создание прототипа транспортного средства воздушной и наземной мобильности для транспортировки груза

Задачи:

1. Провести анализ существующих аналогов;
2. Смоделировать сборку дронохода;
3. Распечатать комплектующие сборки. Корпус необходимо вырезать из фанеры;
4. Собрать дроноход;
5. Воспользоваться для макета дроном EMAX
6. Прошить контроллер дронохода Pixhawk PX4
7. Провести испытания транспортного средства.

Обзор аналогов:

На данный момент существует много типов, моделей, марок вездеходов. Одни из самых преуспевших – компания Xerall и их X-TRANSCOPTER с возможностью передвигаться на гусеницах по земле и летать. Однако дроноход имеет в первую очередь возможность смены модулей для передвижения в разных видах местности.

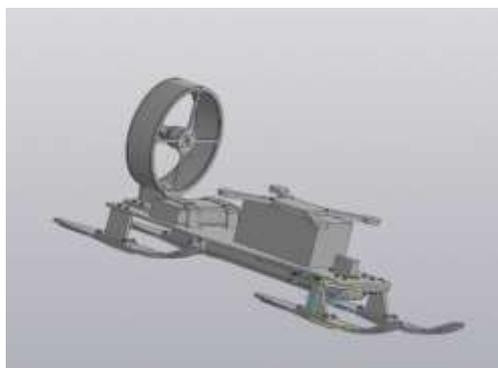


Рис. 1. 3-D модель дронохода с лыжами

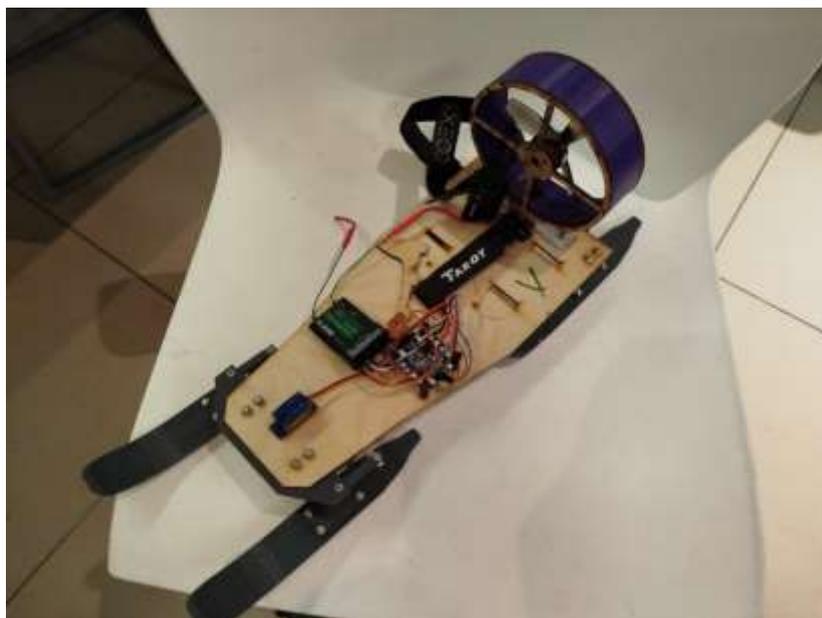


Рис. 2. Собранная модель дронохода

Заключение

В результате работы над проектом я успешно создал прототип уникального гибрида вездехода, который сочетает в себе возможности передвижения по сложным ландшафтам и функции доставки по воздуху, земле и по воде. Проект был успешно защищен, и я удовлетворен достигнутыми результатами. Это решение открывает новые горизонты для работы в труднодоступных районах и повышает эффективность различных операций.

Список литературы

1. Руководство подключения и настройки полётного контроллера Pixhawk 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manuals.plus/ru/holybro/pixhawk-4-autopilot-manual>.
2. Руководство работы с конфигуратором QGroundControl [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clover.coex.tech/ru/gcs_bridge.html.
3. Статья про X-TRANSCOPTER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://24gadget.ru/1161068404-dron-vezdehod-pokorit-i-nebo-i-zemlyu.html>.

РАЗРАБОТКА БЫТОВОГО МАССАЖЕРА С ФУНКЦИЕЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Кравченко М.А.

МБОУ Лицей при ТПУ, 10 класс, 344 гр,

e-mail: shadowms269@gmail.com

Научный руководитель: Туранов С.Б., канд. техн. наук, доцент Ом ИШНПТ ТПУ

Одной из самых распространённых патологий кожи является болезнь акне. По статистике, этой проблемой страдают более 650 млн человек во всем мире. В связи с этим, вопросы лечения и профилактики кожных инфекций и заболеваний, таких как акне или угревая сыпь являются важными и актуальными. Для борьбы с акне используются разные способы: медикаментозное лечение, химические пилинги, микродермабразия и другие. Однако стоит учесть, что не каждый такой метод может подойти любому пациенту и зачастую они имеют побочные эффекты [1]. При этом эффективность таких способов не всегда позволяет достичь желаемого эффекта.

Одним из перспективных способов лечения акне является фотодинамическая терапия (ФДТ). ФДТ представляет собой неинвазивный, относительно новый метод физиотерапии, основывающийся на использовании химической реакции, возникающей в результате взаимодействия света определённой длины волны на фотосенсибилизатор, скапливающийся в целевых тканях [2]. Фотосенсибилизатор – вещество, поглощающее энергию света и вступающее в реакцию с кислородом, запуская процесс образования синглетного кислорода и активных форм кислорода (АФК) [3]. Фотосенсибилизатор выборочно скапливается в поражённых клетках и при воздействии на него света образует АФК, разрушающие их, не повреждая здоровые ткани [2]. Именно это делает ФДТ одним из самых удобных и безопасных методов лечения акне и угревой сыпи. Однако при потребности внедрять данную процедуру в жизнь человека как повседневную практику, возникают серьёзные проблемы. Данная процедура проводится только в специализированных клиниках, а оборудование громоздкое и немобильное. В условиях современной жизни, не каждый может позволить себе ежедневные дорогостоящие процедуры. В связи с этим появляется необходимость разработки компактных устройств для проведения профилактических и лечебных процедур в домашних условиях.

Для реализации удобного применения фотодинамической терапии в домашних условиях был разработан массажер с функцией ФДТ, а впоследствии и его 3D-модель. Основным элементом массажера являются источники излучения, так как именно они активизируют химические процессы. Исследования показывают, что различные области спектра могут оказывать разное влияние. Так, например, синий и УФ свет убивает бактерии, красный стимулирует выработку коллагена, а зелёный успокаивает кожу. Таким образом, выбор светодиодов является важной первоочередной задачей.

Для разработки массажера были выбраны светодиоды разного спектрального диапазона (400, 440, 600 и 660 нм.), чтобы обеспечить комплексный эффект от воздействия. Одной из важнейших характеристик светодиодов является их температура нагрева. Она не должна доставлять дискомфорт при использовании устройства. В связи с этим, для выбора наиболее оптимальных режимов работы светодиодов, были проведены измерения вольтамперной и температурной характеристик. Для измерения напряжения и тока светодиода использовался источник питания Mastech NY3005D, а для фиксации температуры применялся цифровой мультиметр Mast MY64 с термопарой. Фиксация зависимости температуры, на которую нагревается один диод, подключённый к источнику постоянного тока, от времени работы проводилась на силах тока: 150 мА, 200 мА, 250 мА, 300 мА и 350 мА. Время измерений составило две минуты, этого промежутка было достаточно, чтобы светодиод вышел на стабильный режим работы.

Результаты проведенных измерений (рис. 1, табл. 1) позволили выбрать оптимальные режимы работы светодиодов, чтобы обеспечить температуру не вызывающую дискомфорт у человека: $I = 200 \text{ мА}$, $U = 2,0 \text{ В}$ (для красного), $I = 200 \text{ мА}$, $U = 2,1 \text{ В}$ (для оранжевого), $I = 150 \text{ мА}$, $U = 2,8 \text{ В}$ (для синего), $I = 150 \text{ мА}$, $U = 3 \text{ В}$ (для фиолетового), $I = 150 \text{ мА}$, $U = 3,3 \text{ В}$ (для ультрафиолетового).

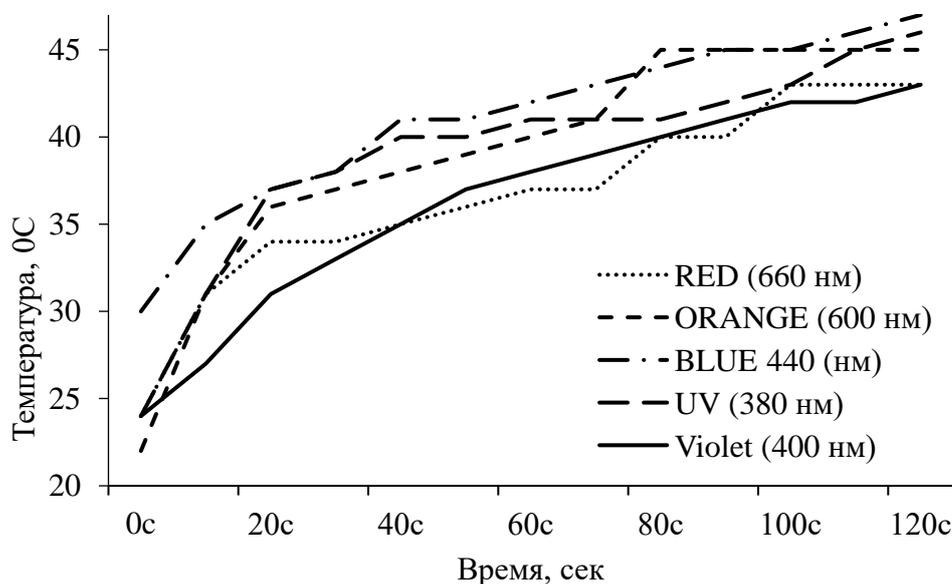


Рис. 1. Зависимость температуры светодиода от времени работы при 200 мА

Таблица 1

Зависимость напряжения от тока для разных светодиодов

Ток, А	Напряжение, В				
	Red	Orange	Blue	Violet	UV (380)
0,05	1,9	1,9	2,6	2,9	3,2
0,10	2,0	1,9	2,7	3,0	3,2
0,15	2,0	2,0	2,8	3,0	3,3
0,20	2,0	2,1	2,8	3,0	3,3
0,25	2,1	2,1	2,9	3,1	3,3
0,30	2,2	2,1	3,0	3,1	3,3
0,35	2,3	2,2	3,0	3,1	3,4
0,40	2,3	2,2	3,1	3,2	3,4

Таким образом сформированы рекомендуемые режимы работы светодиодов для разрабатываемого устройства. Полученные данные необходимы для расчета энергетических характеристик, измерения фотометрических параметров, а также составления электрической схемы подключения. От этих результатов зависит форм-фактор и исполнение конструкции массажера.

Список литературы

1. Hui-Lin Ding, Xiu-Li Wang, Hong-Wei Wang et al. Successful treatment of refractory facial acne using repeat short-cycle ALA-PDT: Case study // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. – 2011. – Vol. 8. – P. 343–346.
2. Nandita Suresh, Betsy Joseph, Pradeesh Sathyan et al. Photodynamic therapy: An emerging therapeutic modality in dentistry // Bioorganic & Medicinal Chemistry. – 2024. – Vol. 113. – P. 117962.
3. Chuan-Tsung Su, Chun-Ju Chen, Chung-Ming Chen et al. Optical profile: A key determinant of antibacterial efficacy of photodynamic therapy in dentistry // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. – 2021. – Vol. 35. – P. 10246.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ VR-КЛАСС «ПОЛЮС»

Пилипенко Н.М., 10 класс

Левко С.Р., 10 класс

Шеин А.А., 10 класс

МБОУ «Кривошеинская СОШ им. Героя Советского Союза Ф.М.Зинченко»

Руководитель: Бузынина Е.С.,

педагог дополнительного образования

АНО ДО «Детский технопарк «Кванториум», г. Томск

Аннотация: Суть работы заключается в создании виртуального – класса для дистанционного обучения школьников в виртуальной – среде по всей России.

Актуальность: В 56,2% [1] случаях у школьников во время дистанционного обучения ухудшаются оценки, продуктивность во время занятий и увеличивается нагрузка. На это влияет отсутствие общения между учениками во время занятий [2], интереса учеников к дистанционным занятиям [3] и контроля учителем [4], присущего очному образованию.

Проблематика: Низкая продуктивность учеников во время дистанционных занятий.

Цель: Создание программного обеспечения (приложения) на платформе Unity, имитирующего реальный класс в виртуальном пространстве, включающего в себя 3D-модели для углубленных занятий по таким предметам как: физика, химия, биология, технология, астрономия.

Задачи: научиться создавать виртуальное приложение на платформе Unity, разработать 3D-модели, разработать код приложения на основе готовых вариантов [5], внедрить 3D-модели в приложение, протестировать и доработать приложение.

Обзор аналогов:

Существуют аналоги платформ подобного рода, но они имеют ряд недостатков. В табл. 1 приведены некоторые из них в сравнении с предлагаемым приложением. Главным недостатком этих платформ является высокая стоимость, а именно около 100000 рублей/комплект.

Таблица 1

Сравнительная таблица аналогов платформы

Наименование параметра	«Полюс» (проект)	Lenovo VR- classroom	«ClassVR»
Наличие собственной специальной VR-гарнитуры	–	+	+
Бесплатное ПО, доступные цены на оборудование	+	–	–
Наличие русской локализации	+	–	–
Возможность приобрести в РФ	+	–	–

На основе анализа аналогов платформ была выбрана программа (игровой движок) для разработки проекта. Это программное обеспечение Unity. Для моделирования объектов интерактивной среды изучена программа Blender. На рис. 1 приведен пример 3D-моделей в Blender. На данный момент изучаются методы разработки виртуальной среды, начата разработка интерактивного приложения (рис. 2).



Рис. 1. Первые 3D-модели в программе Blender



Рис. 2. Начало процесса разработки на Unity

Целевая аудитория: Российские учителя и школьники.

Этапы проекта: Сбор информации, проведение опроса, анализ аналогов, разработка 3D-моделей, разработка основы приложения, тестирование и доработка проекта, подготовка и оформление презентации проекта.

Стейкхолдеры: Школьники, учителя, департаменты образования субъектов РФ.

Экономика: Затраты на реализацию проекта включают только услуги программиста – 60.000 руб., и услуги двух дизайнеров – 100 000 руб. Итого: 160.000 руб.

Выводы

При реализации проекта у школьников по всей стране появится возможность изучать и познавать школьные предметы с использованием виртуальной реальности, проводя разные опыты и наглядно изучая отдельные объекты и системы. Это должно повысить их успеваемость и качество знаний.

Список литературы

1. Статья о влиянии дистанционного образования на продуктивность учеников – [Электронный ресурс] – <https://skillbox.ru/media/education/spetsialisty-vyyasnili-kak-distant-otrazilysya-na-shkolnom-obuchenii-v-regionakh/?ysclid=m2agcy4lr1514712303>.
2. Исследование «Как круг общения влияет на успеваемость студентов» – [Электронный ресурс] – <https://trends.rbc.ru/trends/education/5f2857669a7947dff5fb3f0d>.
3. Исследование «Школьники утратили интерес к учебе на дистанционке» – [Электронный ресурс] – <https://rossaprimavera.ru/news/ec5b141f>.
4. Учебно-методический материал «О проблемах мотивации школьников в процессе дистанционного обучения» – [Электронный ресурс] – <https://nsportal.ru/shkola/distantionnoe-obuchenie/library/2020/07/07/o-problemah-motivatsii-shkolnikov-v-protssesse>.
5. Исходный код платформы VrChat – [Электронный ресурс] – <https://github.com/VRChat>.

ПРИЛОЖЕНИЕ ИГРА «ПРИПЯТСТВИЕ НА ЛЕТУ»

Коваленко С.М., ученик 6 кл.

Соколов С.Я., ученик 6 кл.

Никитков А.А., ученик 6 кл.

МАОУ Лицей № 1 им. А.С. Пушкина, г. Томск

АНО ДО ДТ «Кванториум»,

e-mail: stavrkov@gmail.com

e-mail: sigmaunited994@gmail.com

Руководитель: Михайлов Д.В.

Педагог дополнительного образования

e-mail: denis.mihaylov.9898@mail.ru

Логическое мышление [1] является важным элементом познавательной деятельности человека, представляющим собой мыслительный процесс, в котором индивид оперирует имеющимися знаниями для получения обоснованных, последовательных и связных выводов. Это умение можно развивать и тренировать на протяжении всей жизни с помощью различных методик. В данной статье рассматривается проект, направленный на создание игры, которая будет способствовать развитию логического мышления, и подчеркивается его актуальность в современном обществе.

В современном мире, насыщенном информацией, умение логически мыслить становится необходимым навыком. Эффективные методы тренировки логического мышления включают в себя различные виды задач и игр. Специальные ресурсы с логическими задачами, доступные через интернет, предоставляют возможности для развития этого навыка на мобильных устройствах и компьютерах. Интерактивные игры не только делают процесс обучения более увлекательным, но и способствуют формированию важных качеств, таких как быстрая реакция, способность принимать решения и делать выбор.

- Развитие критического мышления: Игроки смогут улучшать свои навыки анализа и оценки информации, что поможет им принимать более обоснованные решения в реальной жизни.
- Улучшение способности к решению проблем: Решая логические задачи в игре, пользователи научатся эффективно справляться с трудностями и находить оптимальные выходы из сложных ситуаций.
- Повышение мотивации к обучению: Интерактивная игровая форма делает процесс тренировки логического мышления более интересным и привлекательным, что способствует желанию обучаться.

Цель данного проекта – создание игры на платформе Unreal Engine 4, в которой игроку предстоит преодолевать различные препятствия и достигать финиша. Игра будет акцентирована на логических задачах, направленных на развитие логического мышления и совершенствование навыков стратегического планирования и анализа.

Проект включает в себя следующие этапы:

- Исследование: Анализ существующих игр, способствующих развитию логического мышления.
- Проектирование: Определение игровых механик (рис. 1), уровней сложности и типов препятствий.
- Разработка: Использование возможностей Unreal Engine 4 [2] для создания игрового процесса.
- Тестирование: Оценка эффективности и увлекательности игры на целевой аудитории.

Создание игры, направленной на развитие логического мышления, является важным шагом к улучшению образовательных технологий. Игра обеспечивает увлекательный способ

тренировки критического мышления и способствует формированию навыков, необходимых в современной жизни. Внедрение игровых проектов в образовательную практику может значительно повысить интерес и мотивацию учащихся, делая процесс обучения более эффективным и динамичным.

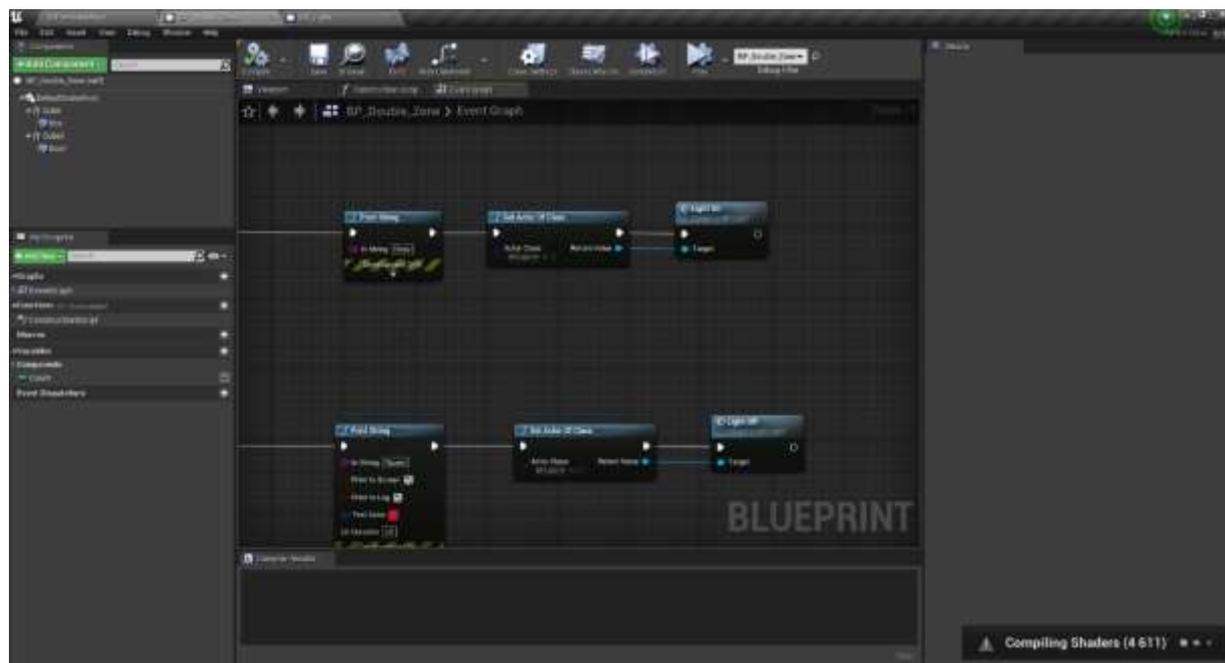


Рис. 1. Blueprint's

Список литературы

1. Сидоров И.А. «Развитие логического мышления у детей и подростков». М.: Издательство «Наука», 2020.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.

ВИДЕОИГРА НА UNITY «MOBY: THE LEGEND»

Слюта Е.А., ученик 11Е класса,

Терентьева Е.В., учитель,

МАОУ «Гимназия города Юрги» (Кемеровская область – Кузбасс)

В 21 веке информационные технологии развиваются с невероятной скоростью, и в этом контексте компьютерные игры становятся важной частью повседневной жизни многих людей. В основном видеоигры используются для досуга и развлечения.

Unity является одним из самых популярных игровых движков в мире, используемый как крупными студиями, так и инди-разработчиками. Его популярность обусловлена доступностью, гибкостью и мощным функционалом.

Изучение Unity и C# имеет большое значение для меня как разработчика, поскольку обеспечивает меня необходимыми навыками и инструментами для создания качественных программ и проектов, а также для будущей работы.

Цель: изучение возможностей движка и языка программирования C#, а также создание видеоигры жанра Rogue-like.

Задачи:

1. Изучить возможности игрового движка Unity.
2. Запрограммировать полноценную игру на языке программирования C#.
3. Создать видеоигру жанра Rogue-like.
4. Транслировать опыт работы с движком Unity.
5. Продемонстрировать созданную игру.

Методы исследования: Для достижения поставленных целей и задач были использованы следующие методы исследования:

1. Просмотр материалов и видеоуроков по движку Unity и языку программирования C#.
2. Написание кода на C# для реализации логики взаимодействия игры с игроком.
3. Рисование спрайтов и моделей будущего проекта.
4. Тестирование игры и исправление ошибок.

В результате работы была создана игра «Moby: The Legend», представляющая пользователям площадку для досуга и проведения свободного времени. Игра имеет простое и понятное управление, а также предоставляет игроку возможность выбора уровня сложности.

Идея игры: игрок появляется на уровне, где он должен уничтожить всех врагов для того, чтобы перейти в следующую комнату. Постепенно комнаты становятся сложнее, пока игрок не достигает финальной. За каждое уничтожение врага повышаются очки игрока, а лучший результат сохраняется.

Я начал свою работу с написания кода для простого передвижения игрока за счет клавиш WASD:

```
private Vector2 moveInput;
private SpriteRenderer spriteRenderer; private Vector2 lastMoveDirection; private
Rigidbody2D _rb;
public float speed = 7f;
private void Update()
{
    HandleMovementInput();
}
private void FixedUpdate()
{
    Move();
}
```

```

private void HandleMovementInput()
{
    moveInput.x = Input.GetAxis("Horizontal"); moveInput.y = Input.GetAxis("Vertical");
    if (moveInput.x > 0)
    {
        spriteRenderer.flipX = false;
    }
    else if (moveInput.x < 0)
    {
        spriteRenderer.flipX = true;
    }
    if (moveInput != Vector2.zero)
    {
        lastMoveDirection = moveInput.normalized;
    }
}
private void Move()
{
    _rb.velocity = Vector2.Lerp(_rb.velocity, moveInput * speed, 0.1f);
}

```



Базовые механики: игрок может передвигаться, совершать рывок, атаковать врагов. Враги же в свою очередь могут преследовать игрока и так же наносить ему урон.

В моей игре много и других механик, но пока остановлюсь на этих, так как они являются основой для самой игры.

И так, полный код с пояснениями, а также исходный код со всеми игровыми ресурсами размещён на Яндекс диске: https://disk.yandex.ru/d/z-WUyPz_1385Bg

Список литературы

1. Public/7kde/ТВ4r86QFf. – [Электронный ресурс] – Официальный форум движка Unity – <https://discussions.unity.com/>.
2. Официальные видеоуроки по Unity на YouTube – [Электронный ресурс] – <https://www.youtube.com/@unity>.
3. Магазин готовых ассетов Unity – [Электронный ресурс] – <https://assetstore.unity.com/>.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ДРОН НА ВОДНОЙ ПОДУШКЕ

Пискунов М.С.

МБОУ РКГ № 2, г. Томск, 6 класс

Руководитель: Мотовилов М.А.,

ДТ «Кванториум»,

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники

В нынешнее время искусственные и натуральные водоёмы необходимо регулярно измерять на уровень кислотности (рН) и загрязнений. Кислотность воды влияет на состав и здоровье водных организмов. Разные виды имеют различные требования к кислотности, и нарушение этих условий может привести к снижению биоразнообразия. Многие химические вещества становятся более токсичными при определенном уровне рН. Например, аммиак становится токсичным для рыбы при более высоком рН. Использование дронов для замеров кислотности воды может заместить работу человека, упростив доступ к разным участкам водоема. Однако для более точного проведения измерения Проект дрона для измерения кислотности воды не только оснащён всеми необходимыми датчиками, но и имеет возможность садиться на определенные участки водоема с помощью водных шасси.

Водные шасси представляют собой лодку на воздушной подушке. Данная лодка крепится под дрон, который должен обладать грузоподъемностью не менее 5 кг. В макете, в качестве воздушной подушки используется целофановый пакет, который раздувается при работе пропеллера, однако в реальной модели предполагается использование брезентовой ткани. На шасси для проведения замеров будет установлен рН-метр рН-value с возможностью получать данные на Arduino.

Цель:

Цель проекта сделать квадрокоптер с наличием рН-метром и водными шасси для определения уровня кислотности воды в искусственных и естественных пресных водоёмах.

Задачи:

1. Собрать корпус дрона;
2. Поместить и подключить полётный микроконтроллер Pixhawk PX4;
3. Прошить Pixhawk PX4 с помощью QGround.
4. Смоделировать водные шасси;
5. Установить шасси на квадрокоптер;
6. Провести испытания.

Обзор аналогов:

На данный момент аналогами являются небольшие дроны-амфибии для детей, например, Triphibian Q353, сделанные из очень тонкого хрупкого пластика и не предназначенные для исследовательской работы.

Были использованы следующие материалы и комплектующие:

1. DJI Моторы 2312E Motor (800kv, CCW);
2. Контроллеры DJI ESC 420LITE;
3. Рама квадрокоптера Tarot FY450;
4. Микроконтроллер Holybro Pixhawk 4;
5. Провода «папа-мама»;
6. Пластик PLA;
7. рН-метр «рНValue».
8. Arduino UNO



Рис. 1. Полностью собранная модель дрона без пропеллеров

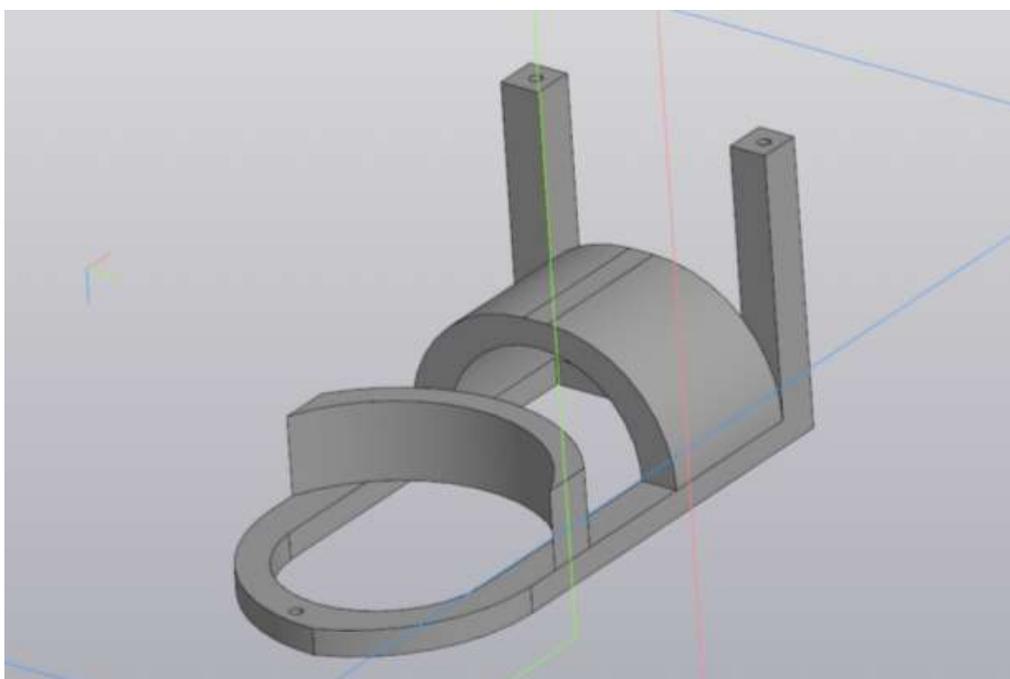


Рис. 2. Разработанная в КОМПАС 3D-модель корпуса для водных шасси

Заключение

На данный момент разработан дрон на основе полетного контроллера Pixhawk PX4. Произведена прошивка дрона, коптер работает корректно. Так же спроектирован корпус шасси, распечатан и находится в процессе установки на квадрокоптер.

Список литературы

1. Статья об использовании гибридных дронов-амфибий в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2020/06/29/medusa>.
2. Руководство подключения и настройки полётного контроллера Pixhawk 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manuals.plus/ru/holybro/pixhawk-4-autopilot-manual>.
3. Руководство работы с конфигуратором QGroundControl [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clover.coex.tech/ru/gcs_bridge.html.

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЙ ДРОН

*Цуканов В.Н., Родин Р.А.,
МАОУ Лицей № 1 имени А.С. Пушкина, г. Томск, 10 класс
Руководитель: Мотовилов М.А.,
ДТ Кванториум,*

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники

Профессиональные операторы дронов часто сталкиваются с неблагоприятными погодными условиями, которые могут негативно сказаться на работе их оборудования. Водонепроницаемые чехлы помогают защитить дрон от влаги, дождя, и снега что продлевает срок службы устройства и обеспечивает надёжную работу электроники. При выборе чехла важно учитывать его качество и совместимость с конкретной моделью дрона. Это поможет избежать проблем с управлением или доступом к функциональным элементам. Кроме того, чехол должен обеспечивать удобство использования, не затрудняя доступ к батареям или другим важным компонентам дрона во время эксплуатации. Исходя из этих критериев выбора данный проект обеспечивает выполнение заданных условий и может использоваться для поисково-спасательных операций, проводимых такими службами как МЧС. В условиях чрезвычайных ситуаций, таких как пожары, наводнения или стихийные бедствия, использование дронов становится особенно актуальным. Они позволяют оперативно получать информацию о ситуации, координировать действия спасателей и обеспечивать безопасность персонала. Однако, чтобы дрон мог эффективно выполнять свои функции в сложных условиях, ему необходима надёжная защита от влаги, пыли и других внешних воздействий. Именно эту задачу решает водонепроницаемый чехол.

Водонепроницаемый чехол обеспечивает защиту дрона при полётах над водой или в условиях высокой влажности, что позволяет эффективно осуществлять поиск и спасение людей в аварийных ситуациях. Благодаря этому спасатели могут оперативно получать информацию об обстановке, определять местоположение пострадавших и направлять к ним помощь. Благодаря защите от влаги дрон может использоваться независимо от погодных условий, что позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, например, при наводнениях или стихийных бедствиях. Кроме того, водонепроницаемый чехол защищает дрон от пыли и грязи, которые могут скапливаться на поверхности и ухудшать работу электроники, что обеспечивает более надёжную работу устройства и снижает риск возникновения неполадок в критических ситуациях. Создание водонепроницаемого чехла для определенного дрона состоит из проведения замеров рамы дрона, моделирования чехла, печать чехла на 3D-принтере и покрытие его жидким силиконом. Жидкий силикон необходим для большей надёжности покрытия, ведь в таком случае все возможные браки на поверхности пластикового корпуса будут стопроцентно защищены плотным слоем силикона. Так же необходимо учесть грузоподъёмность дрона вместе с аккумулятором для расчета толщины чехла и силиконового слоя.

Цель:

Целью проекта является создание чехла, который будет защищать дрон от плохих погодных условий, ведь осуществлять полёты в неблагоприятных условиях очень трудно.

Основные преимущества водонепроницаемых чехлов.

Задачи:

1. Собрать корпус дрона и спаять двигатели, регуляторы полётов и плату распределения питания;
2. Поместить и подключить полётный микроконтроллер;
3. Смоделировать защитный корпус;
4. Распечатать корпус на 3D-принтере;
5. Покрыть корпус жидким силиконом и оставить на высыхание.

Обзор аналогов:

Самыми известными компаниями, производящей водонепроницаемые дроны является SwellPro и QuadH2O. Однако данная компания занимается в первую очередь производством цельнокорпусных квадрокоптеров а не отдельных корпусов на заказ для самосборных квадрокоптеров.

Для изготовления чехла был использован пластик PLA и жидкий силикон. Модель была разработана в САПР-е КОМПАС-3D.



Рис. 1. Модель водонепроницаемого чехла



Рис. 2. Модель водонепроницаемого чехла для самосборного квадрокоптера

Заключение

Водонепроницаемый чехол для дрона особенно полезен во влажных условиях, таких как дождь или снег, чтобы защитить дрон от влаги и коррозии. Это также обеспечивает безопасность при полете над водой, так как предотвращает попадание влаги в электронику дрона.

На данный момент проект может использоваться под различные типы и конструкции дронов за счет перестраивания 3D-модели чехла. Производится отлив силиконовой маски для данного чехла:



Рис. 3. Покрытие водонепроницаемых чехлов жидким силиконом

Список литературы

1. Руководство подключения и настройки полётного контроллера Pixhawk 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manuals.plus/ru/holybro/pixhawk-4-autopilot-manual>.
2. Руководство работы с конфигуратором QGroundControl [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clover.coex.tech/ru/gcs_bridge.html.
3. Статья «Как погода влияет на квадрокоптеры» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dronnews.ru/o-dronakh/kak-pogoda-vliyaet-na-kvadrokoptyery.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДА

Дорохов М.Д., БОУ г. Омска «Лицей № 64»

*Научный руководитель: Лемешко С.Э., учитель физики БОУ г. Омска «Лицей № 64»,
Русских Г.С., доцент каф. ОТМиАУ ОмГТУ, г. Омск*

В работе предложено решение проблемы дешевого личного транспортного средства. Решением послужила разработка гибридного устройства для установки на стандартную раму велосипеда. Описаны принцип действия устройства, требования к нему, его строение и необходимые комплектующие.

Установка, транспорт, гибрид, устройство.

На данный момент проблема транспорта является довольно глобальной. Многие желают иметь свое личное транспортное средство. Одним из актуальных вопросов транспортной инфраструктуры является вопрос так называемой «последней мили» – участка перемещения пассажира от общественного транспорта или места работы к месту жительства [1]. Наиболее частым решением этого вопроса является приобретение личного транспортного средства. Кроме автомобилей за последние годы становятся популярными велосипеды, самокаты и мотоциклы (скутеры). Мотоциклы в большинстве случаев недоступны человеку со средним уровнем дохода по причине довольно высокой цены, а велосипеды требуют достаточно больших усилий для осуществления передвижения. Необходимо придумать транспортное средство, отвечающее требованиям удобства использования и конкурирующее с аналогами на рынке. Модульная гибридная установка является дополнением к стандартному устройству велосипеда, позволяющим осуществлять передвижение без применения физической силы, довольно простым в освоении и использовании.

В настоящее время цены на бензин растут (рис. 1), их невозможно спрогнозировать точно. Гибрид является достаточно экономичным видом транспортного средство, потребляющим относительно немного горючего. Соответственно и затраты на топливо будут минимальными. Приобретение данного устройства будет экономичным решением.

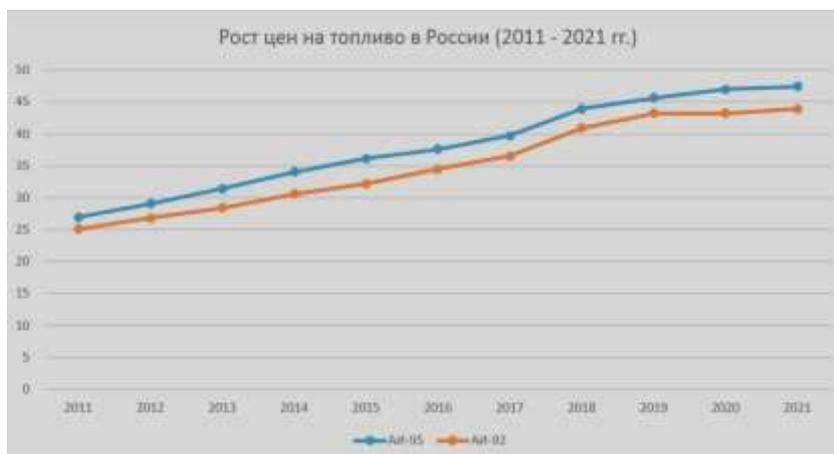


Рис. 1. График роста цен на топливо в России (2011–2021 гг.)

Большинство европейских стран обеспокоены проблемой экологии и пытаются минимизировать вредные выбросы, полученные вследствие сжигания топлива транспортом. Они вводят ограничения на объем выбросов от транспорта в атмосферу [2]. Никто не отрицает, что такие ограничения в будущем будут применены и в России. Гибрид является перспективным и актуальным решением данной проблемы. Работающий на холостых оборотах малокубатурный двигатель, предусмотренный в системе, производит на порядок меньше выбросов.

Гибридная система предполагает работу устройства на бензиновом топливе. Так как за основу был взят малокубатурный легкий двухтактный двигатель, то работать он будет на смеси машинного масла и бензина. Запускаться он будет посредством стартера, получающим питание от аккумулятора. Рабочий двигатель через генератор переменного тока питает аккумулятор. В движение транспорт приводит колесо со встроенным электродвигателем. Ток на электродвигатель поступает от аккумулятора.



Рис. 2. Расположение компонентов устройства

Размещение компонентов связано с их габаритами, весом и обеспечением легкого доступа к ним со стороны пользователя.

Преимущества концепции:

- высокий уровень экономии (цена, расходы и топливо);
- забота об экологии;
- легкость сборки;
- простота использования.

Таким образом, можно уверенно констатировать, что данная концепция конкурентоспособна на современном рынке аналогичных личных транспортных средств. Задумка в настоящий момент вполне способна к воплощению и не требуют к тому больших затрат и усилий.

Список литературы

1. Издательство Veeroute. Доставка последней мили (URL: <https://veeroute.ru/lastmile/>)
Дата обращения к сайту: 11 ноября 2023.
2. Аналитическое агентство Автостат. Переход к электромобилям в Европе. – URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2021/12/06/899291-perehod-elektromobilyam> (дата обращения 9 ноября 2023).

МИНИМОБИЛЬ

*Козлов Е.Е., МОУ «СОШ № 4» г. Стрежевой, 11А класс,
email: egordaimay@gmail.com*

*Захаров Д.В., МОУ «СОШ № 4» г. Стрежевой, 11А класс,
email: demanzaharov399@gmail.com*

*Руководитель: Вольская О.Н., МОУ «СОШ № 5» г. Стрежевой,
учитель физики*

Роль автомобильного транспорта довольно велика в народном хозяйстве и в Вооруженных Силах. Автомобиль служит для быстрого перемещения грузов и пассажиров по различным типам дорог и местности. Автомобильный транспорт играет важнейшую роль во всех сторонах жизни большой страны. И мы считаем, что автомобили, которые могут возить людей на этих предприятиях, слишком большие, и могут просто не проехать между каким-то препятствием, например, между грузовиком и стеной, и надо будет ждать пока грузовик отъедет. Из-за этого можно не успеть по срокам, которые указали. Именно для этого мы хотим создать абсолютно новый продукт для передвижения по предприятиям с большой площадью территории по доступной цене.

Наш проект вдохновлён желанием создать инновационное и эффективное решение для облегчения работы на промышленных и производственных площадках. Мы стремимся разработать надёжное транспортное средство, способное обеспечить комфортное перемещение по всем участкам предприятия и повысить эффективность рабочих процессов.

Проблема: на сегодняшний день людям, работающим на больших по площади предприятиях, довольно сложно передвигаться между объектами этого предприятия, а другие компании, изготавливающие другие средства передвижения, либо ушли из РФ из-за санкций, либо их продукты очень дорогие по стоимости и в обслуживании.

Проанализировав аналоги похожие на наш проект, мы их практически не нашли. Но те, гольф кары, которые изобретены в США нельзя купить из-за введения санкций. А вот гольф кары, произведённые в РФ в несколько раз дороже зарубежных. Увидев это, мы поняли, наш проект просто не заменим в наших реалиях.

Наша цель – это до конца 2024 года изготовить полностью рабочий минимобиль из отечественных б/у комплектующих.

Для достижения этой цели мы поставили себе данные задачи:

- Исследовать аналоги по теме проекта.
- Сделать чертежи в программе «Компас» необходимых механизмов (рис. 1)
- Подобрать и заказать все материалы
- Собрать все механизмы в одно целое (рис. 2)
- Изготовить минимобиль (рис. 3, 4, 5)
- Протестировать готовый минимобиль
- Доработать по результатам тестирования

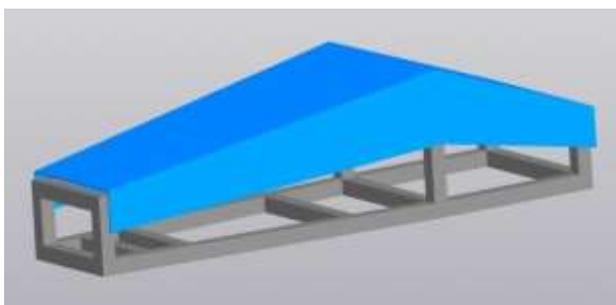


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Для создания чертежей мы пользовались программой «КОМПАС-3D»

Для сборки минимобиля мы подбирали материал в строительных магазинах нашего города, и на интернет-ресурсах: «Авито», «Wildberries», «Aliexpress» и в строительных магазинах нашего города.

В работе со сварочным аппаратом нам помогал квалифицированный сварщик, хоть мы и сами варили, но под его чутким контролем.

На данный момент времени мы идем к тому, чтобы распространить наш продукт на разные предприятия.

Список литературы

1. URL: <https://autostuk.ru/samodelnyj-karting-svoimi-rukami.html>.
2. URL: <https://www.drive2.ru/b/652657458937860832/>.
3. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Iv5IZlGaPa0>.
4. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NQxrcPYNXq4>.
5. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=r71z2za515A>.
6. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0DYZA6raQBU>.
7. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=3xONcZdDvvg>.

АВТОНОМНАЯ ДОСТАВКА ГРУЗА С ПОМОЩЬЮ ДРОНА

Шалдо Н.

МАОУ Лицей № 1 им. А.С. Пушкина, г. Томск, 9 класс

Руководитель: Мотовилов М.А.,

АНО ДО ДТ Кванториум,

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники

В течение последних лет коммерческий сектор проявлял интерес к различным применениям дронов малой дальности. Доставка «последней мили» – одно из наиболее вероятных применений дронов в логистике, поскольку эта технология лучше подходит для коротких поездок. Хотя обычные фургоны могут преодолевать невероятно большие расстояния, стоимость их использования на последнем этапе доставки абсурдно высока. Доставка в тот же день – еще одно вероятное применение, поскольку дроны маленькие, быстрые и легкие. Что еще более важно, они обычно могут хранить только одну посылку одновременно, что делает их идеальными для срочного выполнения заказов.

Дрон для автономной доставки груза – это воздушное транспортное средство, предназначенное для перевозки различных товаров с минимальным вмешательством человека. Он оснащён систем, которые обеспечивают полную автономность в процессе доставки. Основными характеристиками данного дрона являются автономность полёта, возможность работать с дроном через конфигурактор или приложение, грузоподъёмность до 5 кг, экологичность. Принцип автономной работы квадрокоптера заключается в возможности задания маршрутов в программе QGroundControl, работающей совместно с полётным контроллером Pixhawk 3-й и 4-й версии. Далее с помощью GPS-модуля дрон определяет свою геолокацию и начинает выполнять алгоритм. Для захвата груза предполагается использования манипулятора.

Дроны для автономного полёта подходят для доставки небольших товаров, таких как медикаменты, еда, документы, а также малогабаритных товаров из интернет-магазинов. Их можно использовать как в городах с плотной застройкой, так и в отдалённых районах, где традиционные методы доставки могут быть дорогостоящими или неудобными. С развитием технологий и улучшением инфраструктуры автономных дронов, такие системы доставки станут неотъемлемой частью логистических процессов, обеспечивая быстрое, надёжное и экологичное перемещение грузов.

Цель:

Создать дрон для автономной доставки грузов с минимальным участием человека.

Задачи:

1. Собрать корпус дрона;
2. Поместить и подключить полётный микроконтроллер, систему GPS, плату Raspberry Pi и датчики;
3. Запрограммировать плату Raspberry Pi на автономный полёт и доставку грузов.

Обзор аналогов:

На рынке существует несколько компаний, разрабатывающих дронов для автономной доставки, которые имеют схожие характеристики и возможности с описанным ранее устройством. Вот несколько примеров таких дронов:

1. Amazon Prime Air – это один из самых известных проектов автономных дронов для доставки, разработанный компанией Amazon. Дроны Prime Air предназначены для доставки небольших товаров (до 2,3 кг) на расстояния до 24 километров. Эти дроны могут летать со скоростью до 80 км/ч и оснащены системой автоматического избегания препятствий.
2. Wing – это подразделение компании Alphabet (материнской компании Google), которое занимается разработкой дронов для доставки. Дроны Wing уже активно используются

для доставки товаров в Австралии и некоторых частях США. Эти дроны могут доставлять пакеты весом до 1,5 кг.

Были использованы следующие материалы и комплектующие:

1. DJI Моторы 2312E Motor (800kv, CCW);
2. Контроллеры DJI ESC 420LITE;
3. Рама квадрокоптера Tarot FY450;
4. Микроконтроллер Holybro Pixhawk 4;
5. Провода «папа-мама».

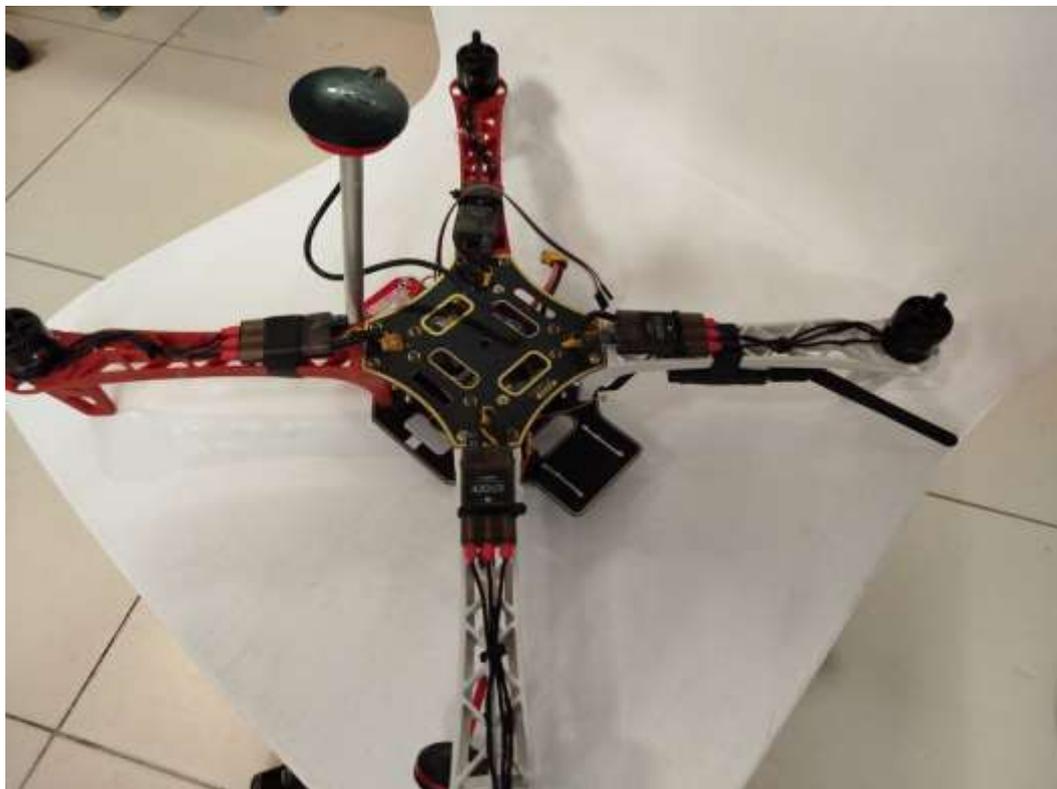


Рис. 1. Полностью собранная модель дрона без пропеллеров

Заключение

На данный момент спроектирован, распечатан и собран корпуса дрона. В настоящий момент ведется прошивка и настройка GPS-модуля Pixhawk 4 на корректный автономный полёт вокруг Кванториума для проведения испытаний.

Список литературы

1. Статья о доставке с помощью дронов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3EZqaj>.
2. Руководство подключения и настройки полётного контроллера Pixhawk 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manuals.plus/ru/holybro/pixhawk-4-autopilot-manual>.
3. Руководство работы с конфигуратором QGroundControl [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clover.coex.tech/ru/gcs_bridge.html.

РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Обучающаяся: Михлеева А.М.¹

Наставник: Ивкина О.В.²

¹МБОУ СОШ № 3,

e-mail: annamikhleeva27@gmail.com

²МБОУ СОШ № 3, e-mail:

olesya.ivkina.1988@mail.ru

г. Куйбышев, НСО

В нашем мире всё больше развиваются технологии. Многие области наук прогрессируют, благодаря ученым. Изучением космического пространства и развитием космических технологий люди интересуются до сих пор.

Цель работы: исследование двигателя нового поколения на жидком кислороде и метане.

Задачи:

- 1) Изучить ракеты и жидкостный ракетный двигатель;
- 2) Исследовать принцип работы жидкостного ракетного двигателя на жидком кислороде и метане;
- 3) Исследовать преимущества сопла Лавалья для ракет с ЖРД.

1. В ракете можно выделить три отсека: отсек полезной нагрузки; топливный отсек; хвостовой отсек. Топливный отсек и хвостовой отсек, обычно, считают единым блоком ракеты и называют ракетным блоком, или ускорителем.

Ракета состоит из нескольких отсеков. Самое главное в ракете должно присутствовать устройство, создающее реактивную силу. Таким устройством является реактивный двигатель. Реактивный двигатель включает в свой состав два основных составных конструктивных компонента: камера сгорания и реактивное сопло.

Реактивные двигатели бывают двух видов. Первые на твёрдом топливе и на жидком топливе. В твердых реактивных снарядах использовался реактивный пороховой двигатель. Во время старта с помощью воспламенителя пороховая смесь поджигается и начинается реакция горения с образованием пороховых газов, которые выбрасываются через реактивное сопло во внешнюю среду. Вторые реактивные двигатели на жидком топливе, также их называют жидкостными ракетными двигателями (ЖРД). Жидкостный ракетный двигатель – химический ракетный двигатель, который использует в качестве топлива жидкости, например сжиженные газы.

Ракеты-носители и двигательные установки различных космических аппаратов преимущественно применяются на космических кораблях, в высотных исследованиях, в боевых баллистических ракетах дальнего действия, в зенитных управляемых ракетах, ограниченно в боевых ракетах других классов, на экспериментальных самолётах и др.

2. ЖРД имеет ряд преимуществ, таких как наивысший удельный импульс в классе, возможность выполнения полной остановки и повторного запуска в паре с управляемостью по тяге дает повышенную маневренность, значительно меньший вес топливного отсека в сравнении с твердотопливными двигателями.

Особенности жидкостного ракетного двигателя на жидком кислороде и метане:

- обеспечение безопасности среды даже при аварийном сливе компонентов топлива;
- повышение удельного импульса тяги и улучшение энерго-массовых характеристик РН;
- повышение эффективности охлаждения камеры сгорания;
- упрощение межпусковой обработки топливных трактов;
- снижение стоимости горючего;
- обеспечение доступности природного газа для любых национальных программ;
- обеспечение длительности использования сырьевой базы при наличии больших природных запасов горючего;

- облегчение создания двигателя любой принципиальной схемы;
- использование материалов, технологий и оборудования, присущих криогенной технике;
- возможность хранения топлива и окислителя при одинаковых температурах;
- относительная простота обращения во время эксплуатации ракеты-носителя.

Механизм действия ракеты на жидкостном ракетном двигателе один, но он достигается при помощи разных схем устройств. Горючее и окислитель при помощи насосов поступают из разных баков на форсуночную головку, нагнетаются в камеру сгорания и смешиваются. После возгорания под давлением внутренняя энергия топлива превращается в кинетическую и через сопло вытекает, создавая реактивную тягу. Топливная система состоит из топливных баков, трубопроводов и насосов с турбиной для нагнетания топлива из бака в трубопровод и клапана-регулятора. Насосная подача топлива создает высокое давление в камере и, как следствие, большее расширение рабочего тела, за счет которого достигается максимальное значение удельного импульса. Форсуночная головка – блок форсунок для осуществления впрыска топливных компонентов в камеру сгорания. Основное требование к форсунке – качественное смешивание и скорость подачи топлива в камеру сгорания.

3. Выбор сопла для ракеты с жидкостным двигателем зависит от множества факторов, включая тип топлива, требуемую тягу, высоту полета и другие параметры. Сопло Лавалья является наиболее распространенным и эффективным решением для ракет с жидкостными двигателями благодаря своей способности оптимизировать производительность в различных условиях полета и обеспечивать высокую эффективность. Это делает его предпочтительным выбором для большинства современных ракетных систем:

1. Оптимизация для различных условий (имеет конвергентную часть, где поток газа ускоряется, и дивергентную часть, где он расширяется, что позволяет эффективно работать как на уровне моря, так и на больших высотах, где давление ниже).

2. Увеличение скорости истечения: Сопло Лавалья позволяет достичь значительных значений скорости истечения газов, что непосредственно связано с увеличением импульса и, следовательно, с эффективностью работы двигателя.

3. Поддержка высоких температур и давлений (делает их идеальными для жидкостных ракетных двигателей, использующих высокоэнергетические топлива).

4. Высокий удельный импульс (обеспечивает высокий удельный импульс I_{sp} , то есть ракета может достигать больших высот и дальностей с меньшими затратами топлива).

5. Модульность и адаптивность (возможность адаптировать их под конкретные задачи и условия полета).

Вывод

Жидкостные ракетные двигатели на жидком кислороде и метане представляют собой перспективное направление в космических технологиях благодаря своей высокой эффективности и безопасности. Они обеспечивают значительный удельный импульс, что позволяет ракетам достигать больших высот и дальностей с меньшими затратами топлива. Использование криогенных технологий и доступность метана делают эти двигатели экономически выгодными и менее токсичными. Гибкость в проектировании и возможности адаптации под различные условия полета открывают новые горизонты для космических миссий. В целом, исследования в этой области могут существенно повлиять на будущее освоения космоса и развитие ракетных систем.

Список литературы

1. URL: <https://avia.pro/blog/zhidkostnyy-raketnyy-dvigatel>.
2. URL: <https://avia.pro/blog/zhidkostnyy-raketnyy-dvigatel?ysclid=m21xq4859n580174330>.
3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-komponentov-topлива-metan-kislorod-v-zhidkostnyh-raketnyh-dvigatelyah-1?ysclid=m2agmhtgl782431014>.
4. Волоцуев В.В., Ткаченко И.С. Введение в проектирование, конструирование и производство ракет. – Самара: Самарский университет, 2017. – С. 11.

АВТОНОМНЫЙ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ

Шуплецов М.А.

МАОУ СОШ № 28, 10 класс

Руководитель: Мотовилов М.А.,

ДТ «Кванториум»,

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники

Проект направлен на создание автономного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) самолетного типа с возможностью вертикального взлета и посадки. Ключевой особенностью данного БПЛА является модульная система полезной нагрузки, позволяющая адаптировать аппарат под различные задачи – от доставки грузов и мониторинга до поисково-спасательных операций. Система управления включает элементы геолокационных устройств и компьютерного зрения для автономной маршрутизации по миссии и анализа данных в реальном времени.

Цель:

Создание универсального БПЛА-конвертоплана для решения широкого спектра задач в области грузоперевозок, мониторинга и экстренного реагирования, обеспечивающей высокую мобильность, адаптивность и экономичность эксплуатации.

Задачи:

1. Разработка концепта будущего прототипа (тех. характеристики, аэродинамическая схема);
2. Создание 3D-модели самолета в САПР (Компас-3Д, Fusion 360), чертежей для создания;
3. Производство фюзеляжа и крыльев, модулей самолета;
4. Интеграция систем управления и коммуникации;
5. Отладка компонентов;
6. Выявление недостатков, внесение изменений;
7. Создание презентации и участие в выставочных мероприятиях и акселераторах (РобоКап, Архипелаг, РОСТ.УР и т. д);
8. Презентация проекта на вышесказанных мероприятиях;
9. Налаживание стабильной связи с потенциальными заказчиками.

Обзор аналогов:

Дрон-конвертоплан «Ловкий»

Основным достоинством является высокая маневренность, которая обеспечивает адаптивность аппарата к различным условиям эксплуатации. Возможность совмещения вертикального взлета и самолетного режима полета значительно расширяет спектр потенциальных задач, включая использование на ограниченных площадках. Надежность конструкции, проверенной на практике и специально оптимизированной для транспортировки грузов, свидетельствует о ее функциональной и инженерной эффективности.

Среди выявленных ограничений следует отметить недостаточный уровень автономности системы управления, что предполагает необходимость участия оператора для выполнения ряда функций. Кроме того, ограниченная грузоподъемность аппарата снижает его применимость для задач, требующих транспортировки значительных объемов. Конструктивные особенности устройства, обуславливающие сложность технического обслуживания, могут негативно влиять на эксплуатационные характеристики и увеличивать затраты на поддержание его работоспособности.

Везделет

Ключевым преимуществом аппарата является его универсальность, позволяющая эффективно применять устройство в разнообразных эксплуатационных условиях. Высокая

устойчивость к ветровым нагрузкам и неблагоприятным внешним факторам делает его особенно востребованным в зонах с сложными климатическими условиями. Также аппарат демонстрирует надежность и стабильность работы в неблагоприятных погодных условиях, что существенно расширяет его функциональные возможности.

Среди недостатков следует выделить высокую себестоимость производства, которая ограничивает массовую коммерческую доступность аппарата. Дальность полета аппарата остается на сравнительно низком уровне, что снижает его эффективность на протяженных маршрутах. Кроме того, конструктивные особенности приводят к повышенному энергопотреблению, что может стать серьезным препятствием для длительных и энергоемких операций.

V-22 Osprey

Аппарат обладает высокой грузоподъемностью и способен решать сложные задачи благодаря сочетанию вертолетного и самолетного режимов полета. Его конструкция доказала свою эффективность в военных и спасательных операциях, демонстрируя отличную адаптивность в различных условиях.

Сложная конструкция требует значительных затрат на техническое обслуживание, а высокая стоимость разработки и эксплуатации ограничивает его использование. Низкая эффективность в автономных гражданских задачах также сужает область применения.

Заключение

Проект находится на стадии разработки концепции и анализа технологических решений, необходимых для его реализации. Проводится исследование современных материалов и систем, которые могут обеспечить надежность, энергоэффективность и функциональность беспилотного летательного аппарата. Активно изучаются технологии вертикального взлета и посадки (VTOL), а также алгоритмы искусственного интеллекта для автономного управления. Кроме того, ведется работа над созданием модульной конструкции, позволяющей адаптировать аппарат к различным сценариям применения.

Список литературы

1. Статья о доставке с помощью дронов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mooc.ssau.ru/courses/course-v1:Samara_university+BPLA+2023_C2/about.
2. «Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика» (Тимоти У. МакЛэйн и Рэндал У. Биард).
3. Руководство подключения и настройки полётного контроллера Pixhawk 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manuals.plus/ru/holybro/pixhawk-4-autopilot-manual>.

АЛГОРИТМ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ИНСУЛЬТЕ. СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Пантюхина Л.Ю.¹, Остердак А.А.², Богдан В.С.³,

¹МАОУ «Подгорнская СОШ» 10 класс,

e-mail: ludapantyukhina@gmail.com

²МАОУ «Подгорнская СОШ» 10 класс,

e-mail: andrejosterdak@gmail.com

³МБОУ «Первомайская СОШ» 8 класс,

e-mail: ffseva419@gmail.com

Руководитель: Шулаякова Р.Р., педагог дополнительного образования,

детский технопарк «Кванториум»,

e-mail: roksanashulayakova@mail.ru

С 2023 года разрабатывается проект по созданию алгоритма первой помощи при инсульте. Заключительным этапом проекта является создание приложения для телефона. На текущий момент рассмотрены несколько вариантов представления алгоритма первой помощи в приложении. Остановлено внимание на анимированных 3D-моделях и сгенерированных с помощью ИИ изображениях, к которым прилагается текст с подробным описанием алгоритма. Наиболее интересным представляется вариант с использованием анимированных 3D-моделей и сгенерированных с помощью искусственного интеллекта изображениях, к которым прилагается текст с подробным описанием алгоритма.

Создание приложения с подробным алгоритмом оказания первой помощи при инсульте может стать эффективным решением проблемы недостатка знаний у людей о том, как вести себя в случае инсульта. Это приложение сможет обучить пользователей распознавать симптомы инсульта и предоставит необходимые шаги, которые следует предпринять для оказания первой помощи пострадавшему.

Возраст – один из факторов, увеличивающий риск инсульта. По статистике инсульт чаще случается у мужчин старше 55 лет и женщин старше 65 лет. Однако по данным Фонда по борьбе с инсультом (ОРБИ), 25 % перенесших инсульт людей моложе 45 лет. 15 % ишемических инсультов случается у молодых людей и подростков, и за последнее десятилетие эта цифра удвоилась. Понимание признаков инсульта и быстрота реакции могут спасти жизнь. Каждый пользователь, освоивший основные принципы первой помощи, сможет уверенно и эффективно действовать в экстренной ситуации. Приложение предназначено для широкой аудитории и станет незаменимым помощником в критической ситуации; задача заключается в том, чтобы знание о первых шагах помощи стало доступным для каждого.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: собрать информацию об этапах первой помощи при инсульте, создать 3D-модели, сгенерировать изображения (рис. 1), разработать алгоритм, определить, как пользователь будет взаимодействовать с приложением, создать приложение (рис. 2), распространить его.



Рис. 1. Сгенерированные изображения

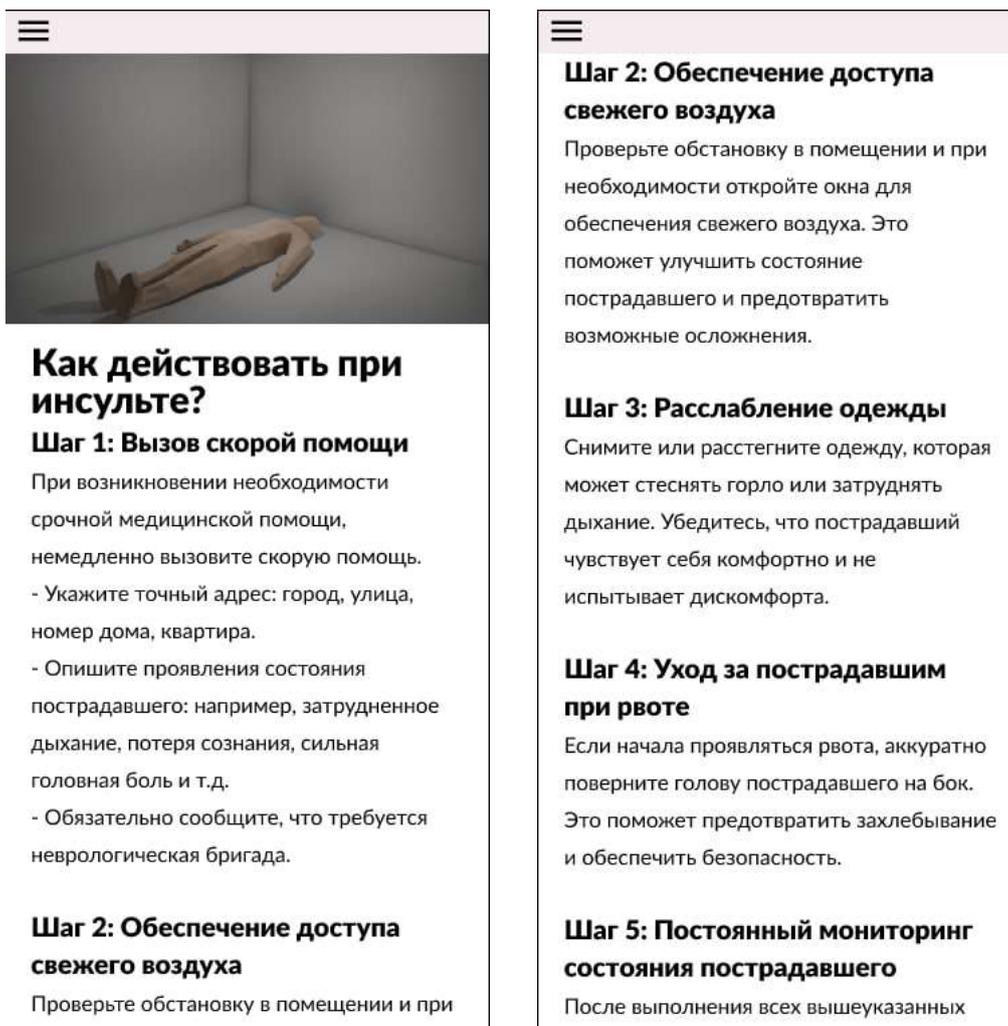


Рис. 2. Приложение

Для создания приложения использовалось следующее программное обеспечение:

Figma – бесплатное ПО, используемое для проектирования дизайна приложения и проработки его функционала.

Python (с библиотекой Tkinter Designer) – бесплатный язык программирования, использовавшийся для создания приложения.

Blender – бесплатное ПО, использовавшееся для создания 3D-моделей.

Krea – бесплатная нейросеть, использовавшаяся для создания изображений.

На данный момент имеются 3D-модели и изображения для представления алгоритма первой помощи при инсульте. Активно ведутся работы над созданием самого приложения и исследуются пути его работы без интернета. Приложение будет опубликовано на различных площадках.

Список литературы

1. Инсульт. Симптомы, первая помощь, методы восстановления Амосов В.Н., Смирнова М.В., Издательство: Вектор, 2013 г.

2. Признаки инсульта и оказание первой помощи https://prioritet03.ru/247_priznaki_insulta_i_okazanie_pervoy_pomoschi.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПЛАТФОРМА «ДЕМИУРГ»

*Носовец В.А.
МАОУ «Школа № 17»,
Филиал АНО «Красноярский детский технопарк «Кванториум» в г. Ачинске,
e-mail: nosovecvladimir895@gmail.com*

В наше время, время новых идей и технологий создается большое количество проектов, которые облегчают жизнь человека в несколько раз, но при этом довольно малая часть проектов создается для научных, гражданских и исследовательских нужд одновременно, в этом и заключается главная проблема. Актуальность, в свою очередь, заключается в том, что нужен проект, помогающий и облегчающий работу ученых-геологов и исследователей в несколько раз.

По известным данным всего лишь 5–10 % Мирового океана было подробно исследовано. Это включает изучение рельефа дна, исследование течений, температуры воды и биоразнообразия. При этом только 0,05 % океана было тщательно изучено на больших глубинах (например, глубоководные впадины), поэтому было бы неплохо создать проект, который сможет дистанционно и при этом довольно подробно исследовать не только глубины морей, но и суши, измеряя при этом показатели окружения, а также отбирая пробы в той или иной местности, которые позже можно будет изучать.

В своей работе я сначала искал способы решения проблемы, и понял, что для этого нужен робот, который сможет не только изучать определенную местность, но и брать с этой местности замеры (в случаях высоких или низких температур, повышенной радиации, высокого уровня загазованности или запылённости, в условиях сильных разрушений и т. д.), а также брать образцы материалов для дальнейшего изучения. При этом, после анализа аналогов я понял, что подобных аналогов мало, из-за чего выстраивается уникальность проекта.

Изначально я создавал прототип проекта, используя набор конструктора MakeBlock, изначально мой робот мог только перемещаться, но позже я добавил датчик расстояния, температуры, манипулятор и несколько дополнительных улучшений, из-за чего робото-платформа уже стала достойным образцом. Позже данный прототип я дорабатывал, немного изменив конструкцию и используя конструктор VEX edr, а также добавляя небольшие улучшения. Данный робот мог перемещаться по разным видам дороги, переносить с собой некоторые материалы, измерять показания местности, а также брать материал грунта в манипулятор.

Ниже предоставлены фото раннего прототипа (рис. 1) и сегодняшней версии платформы (рис. 2):



Рис. 1. Прототип научно-исследовательской платформы «Демидург»

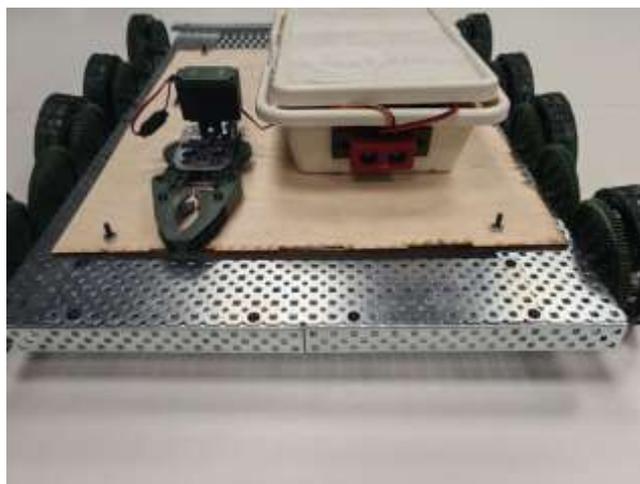


Рис. 2. Прототип научно-исследовательской платформы «Демидург», версия 2

Данный проект был создан из следующих комплектующих: набор конструктора VEX edr 1 шт.; катушка из PLA пластика 1 шт.; фанера размером 50×50 1 шт.; FPV камера 1 шт.; очки для FPV камеры 1 шт.

После планируемой доработки я хочу представить практически готовый вариант научно-исследовательской платформы, а также рассказать о всех его возможностях:

1. Передвижение, осуществляемое через пульт управления, управление данным дроном будет осуществляться на довольно дальние расстояния.
2. Манипулятор, который может брать образец какого-либо материала в свои «клешни».
3. FPV-камера, с помощью которой можно отслеживать, где, в какой местности, в каких условиях на данный момент сейчас находится платформа.

Список литературы

1. Булгаков А.Г., Воробьев В.А. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. – Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2017.
2. Жмудь В.А., Французова Г.А., Востриков А.С. Динамика мехатронных систем. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.
3. Кулаков Д.Б., Кулаков Б.Б. Роботы и робототехника: лабораторный практикум. – Москва: Российский университет дружбы народов, 2018.
4. Медведев В.А. Системы управления электроприводами роботов. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2019.
5. Рыбак Л.А., Гапоненко Е.В., Мамаев Ю.А. Роботы и робототехнические комплексы. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2013.
6. Степыгин В.И., Чертов Е.Д. Теория механизмов и основы робототехники. Зубчатое зацепление. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019.

ПРИЛОЖЕНИЕ «НА ВСЮ НОЧЬ В МУЗЕЕ»

Юдин Д.Д.¹, Болтовский А.В.²

¹ученик 7 класса Академлицей, г. Томск

²ученик 7 класса МАОУ гимназия № 24, г. Томск

Детский технопарк «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26

Руководитель: Михайлов Д.В., педагог дополнительного образования Детского технопарка «Кванториум», г. Томск

Учебный процесс – это всегда работа с информацией. Необходимо находить достоверные источники знаний, систематизировать их и уметь правильно и интересно подать. В играх есть множество элементов, которые делают их эффективным средством подачи информации и реализации обучения. Использование игр в обучении имеет отдельный термин Геймификация [1] – использование различных игровых элементов для повышения вовлеченности, мотивации и интереса учеников. Геймификацию лучше всего использовать в школьных, дошкольных и вне учебных занятий. Внедряя геймификацию в образование, можно добиться следующих преимуществ:

- Создание более высокого уровня мотивации учащихся и комфортной среды.
- Повышение успеваемости учащихся.
- Улучшение запоминаемости информации.

Некоторые компании используют геймификацию в обучении сотрудников, например, «Deloitte» онлайн-игру, которая помогает освоиться на новом месте и научиться работать с MS Office, а также дает советы по консультированию клиентов.

Наша цель создать музей (рис. 1) в виртуальной реальности, где можно выполнять различные задания, направленные на развитии логики и памяти. Например, в музее будет тип головоломок, связанный с памятью исторических дат и событий.

Наша команда реализовала демонстрационную версию приложения «Ночь в музее» на игровом движке «Unreal Engine» [2], а также использовали графический редактор «Blender» [3] для создания 3D-моделей. В начале Игры мы оказываемся в закрытом музее, где главной задачей игрока является поиск выхода из музея. Игроку предстоит проходить головоломки и продвигаться к выходу. Комнаты построены линейным образом что помогает игроку направляться к выходу.



Рис. 1. Музей

Список литературы

1. Статья Геймификация: как игровая индустрия меняет образование / <https://education.forbes.ru/expertise/tpost/ovf7cfr0o1-geimifikatsiya-kak-igrovaya-industriya-m>.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++. – Cookbook, 2021. – 264 с.
3. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М.С. – М., 2020. – 400 с.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛУНОХОДА

Поляков. Т.Л.,
МАОУ Моряковская СОШ Томская область.
Руководитель: Чердынцева С.А.

В настоящее время космическая отрасль является одной из наиболее перспективных для развития. Эта статья дает обзор истории луноходов и их современного состояния, а также указывает на перспективы дальнейшего развития этих технологий.

Луноход – это автоматическая межпланетная станция, предназначенная для исследования поверхности Луны.

Эти устройства играют важную роль в изучении геологических и физических свойств лунной коры, а также в сборе данных об условиях на поверхности спутника Земли. Пребывание человека на космической станции дает возможность проводить множество сложных исследований, более полно изучать вопросы, касающиеся климата и природы Луны, строения материи и Вселенной.

А пока наши ученые изобретают новую космическую технику, нами была изучена история космонавтики, просмотрены фотоматериалы. Из книг узнали, что есть аппараты, которые были на Луне. И мы поэтому решили изготовить модель космического аппарата «Лунохода-1», модернизировав её.

Ведь думая о будущем, мы не должны забывать о прошлом.

Актуальность – летательный аппарат, посланный с Земли, должен вернуться на нее снова, тогда ученые будут обладать самыми полезными и наиболее ценными данными для новых научных открытий.

Цель – изучить строение модели «Луноход-1»; воссоздать модель лунохода, произвести ее модернизацию.

Задачи:

1. Изучить историю космонавтики, космические аппараты;
2. Изучить строение «Лунохода-1»;
3. Произвести модернизацию «Лунохода-1»
4. Собрать усовершенствованную модель лунохода

История развития луноходов

Первый луноход был запущен Советским Союзом 15 ноября 1970 года и получил название «Луноход-1». Этот аппарат успешно выполнил свою миссию по исследованию поверхности.



Рис. 1. Луноход-1. Фотография с интернета

1. Луноход-1 (СССР, 1970) – первый автоматический роботизированный аппарат для исследования Луны.

Технические характеристики:

Масса – 756 кг; длина с полностью открытой солнечной батареей – 4,42 м; ширина в верхней части – 2,15 м; ширина по колёсам – 1,60 м; высота – 1,92 м.

«Луноход-1»- первый лунный самоходный аппарат, предназначенный для комплексных исследований лунной поверхности. Он был доставлен на поверхность Луны 17 ноября 1970 года. «Луноход-1» был создан в конструкторском бюро Химкинского Машиностроительного завода им. С.А. Лавочкина под руководством Григория Николаевича Бабакина. Управление луноходом осуществлялось с Земли из Центра космической связи.

Эскизный проект лунохода был утвержден осенью 1966 года. К концу 1967 года была готова вся конструкторская документация. Автоматическая межпланетная станция Луна-17 с Луноходом-1 стартовала в 10 ноября 1970 года и 15 ноября Луна-17 вышла на орбиту искусственного спутника Луны. 17 ноября 1970 года станция благополучно прилунилась в Море Дождей и Луноход-1 съехал на лунный грунт.

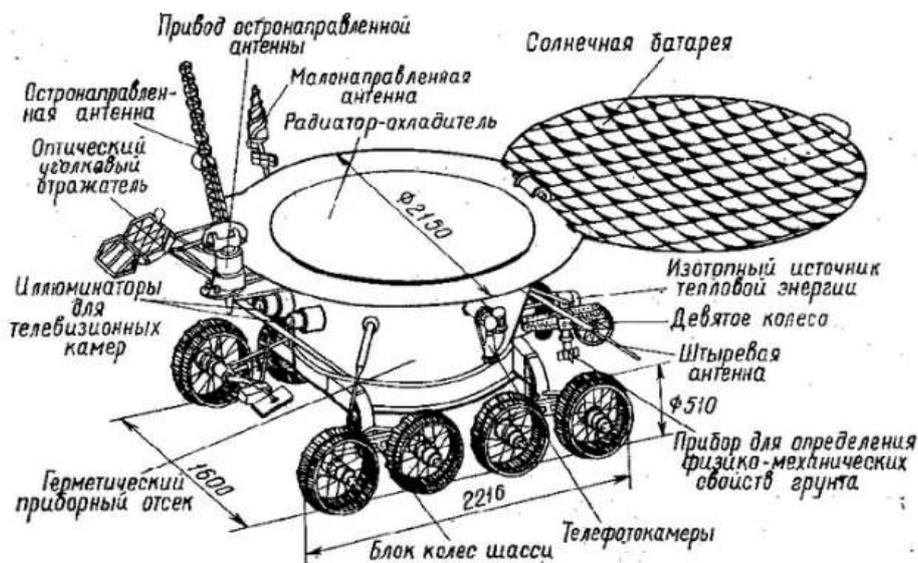


Рис. 2. Эскизный проект Луноход-1

С тех пор было разработано множество моделей луноходов. Вот некоторые из наиболее известных:

2. Луноход-2 (СССР, 1973) – усовершенствованная версия первого лунохода с более продвинутой системой управления и лучшими научными инструментами.



Рис. 3. Луноход-2

Задачи: изучение механических свойств лунной поверхности, фотосъёмка и телесъёмка Луны, проведение экспериментов с наземным лазерным дальномером, наблюдения за солнечным излучением и прочие исследования.

Конструкция: практически не отличалась от своего предшественника «Лунохода-1», масса – 836 кг. В конструкцию была введена выносная телекамера на высоте глаз стоящего человека, облегчающая управление.

3. Чандраян-1 Луноход (Индия, 2008) – небольшая модель, которая была частью миссии Индийского космического агентства для исследования Луны.



Рис. 4. Чандраян-1 Луноход (Индия, 2008)

Проект Индийской организации космических исследований (ISRO). Аппарат состоит из орбитального модуля и ударного зонда. Был выведен на орбиту с помощью модернизированной версии индийской ракеты-носителя PSLV-XL.

Масса станции вместе с топливом составляет 1304 кг, по форме аппарат похож на куб со стороной 1,5 метра. Станция несёт 12 приборов, из них 6 индийских.

4. Луноход-3 (Китай, 2019) – в рамках программы «Чанъэ-3» Китайская Национальная космическая администрация запустила автоматический роботизированный аппарат для исследования южного полюса Луны.



Рис. 5. Луноход-3. (Китай, 2019)

«Юйту» (кит. 玉兔, пиньинь Yùtù, «Нефритовый заяц») – первый китайский луноход, являющийся частью космической миссии «Чанъэ-3».

Характеристики:

масса – 140 кг, из которых около 20 кг составляла полезная нагрузка;

мог передавать видео в реальном времени; имел автоматические сенсоры для предотвращения столкновения с другими объектами; шестиколёсный, был рассчитан на работу в течение трёх месяцев, прохождение дистанции в 10 км, развитие скорости 200 м/ч и преодоление препятствий с 30-градусным уклоном.

Технические особенности луноходов

Луноходы обычно оснащены следующими техническими характеристиками:

Привод: обычно используется электрический двигатель с батареями или радиоизотопным генератором энергии (РГЭ). Эти источники энергии обеспечивают бесперебойную работу аппарата даже при длительных ночах на Луне.

Подвеска: Специальная подвесная система обеспечивает проходимость лунохода по неровной поверхности.

Научное оборудование: включает в себя камеры для съёмки, спектрометры.

Системы управления и связи: Автономные системы позволяют луноходам работать независимо от земной станции при помощи встроенных алгоритмов и систем искусственного интеллекта.

С каждым годом приближается недалекое будущее, которое принесет нам массу нововведений. Зачастую, мы можем наблюдать за рождением новых, ярких идей и технологий, а также внести свой вклад в идею создания своей модели Лунохода.

Местоположение «Лунохода-1» было долгое время неизвестно ученым. Через 40 лет группа физиков отыскала луноход на снимках Луны.

Нам показалось это обидным, и мы решили модернизировать первую модель лунохода, добавив к модели лунохода отсек с радиоактивным двигателем и топливом, чтобы он мог вернуться на Землю. А также капсулу с парашютом, чтобы он на нее не упал.

Данная модель названа «Луноход В-2025» (Выпуск-2025), усовершенствовав модель «Луноход-1», которую изучали.

Модель «Луноход В-2025» был изготовлен из подручного материала. При более детальном изучении возможности возврата «Лунохода В-2025» на Землю, пришли к ряду выводов: отсек с радиоактивным двигателем заменить на жидкостный ракетный двигатель. Он позволит регулировать расход топлива, изменять величину тяги и полностью прекращать работу двигателя с последующим повторным запуском, что позволит контролировать скорость входа лунохода в атмосферу Земли. А также оборудовать луноход защитным щитом, покрытым «жертвенным» слоем, чтобы при прохождении через атмосферу Земли луноход оставался невредимым, а сгорел только защитный щит.

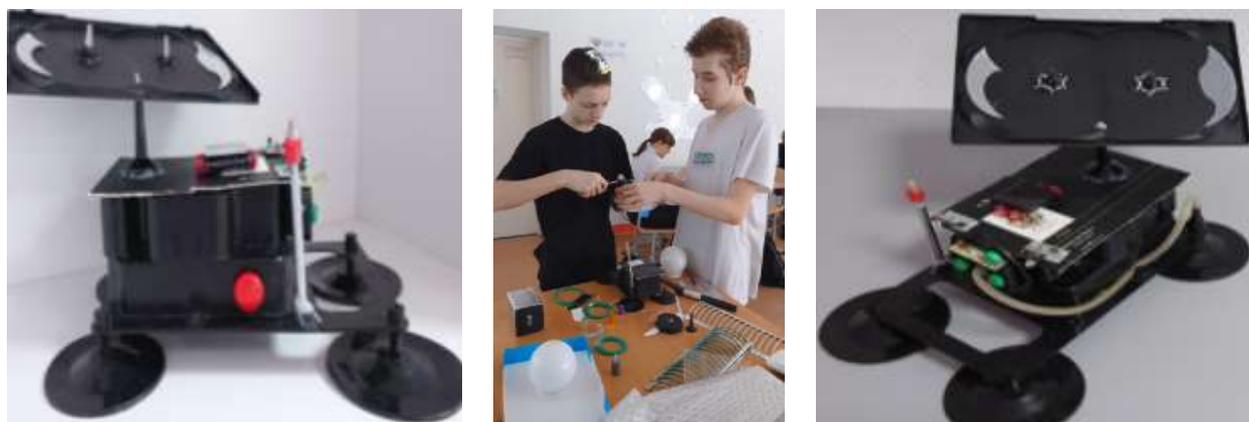


Рис. 6. Модель «Луноход В-2025»

Заключение

Луноходы являются важным инструментом в изучении космического пространства и продолжают играть ключевую роль в наших исследований Луны, вероятно, будет все больше зависеть от таких роботов.

Современные тенденции

В настоящее время разработчики продолжают совершенствовать конструкцию луноходов, делая их более легкими, надежными и автономными. Новые проекты направлены на создание роботов для исследования полярных областей Луны, где существуют уникальные геологические образования.

Список литературы

1. Первые в мире. Луноход Бабакина. – URL: https://tvkultura.ru/video/show/brand_id/63120/episode_id/1896867/video_id/1975886/.
2. Луноход-1 (1970г.) – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Ne-Kn6ssvng>.
3. Толковый словарь Кузнецова. Телефотометр. – URL: <https://gufo.me/dict/kuznetsov/телефотометр>.
4. Четыре штучки лунохода. – URL: <https://polymus.ru/ru/museum/news/chetyre-shtuchki-lunohoda/>.
5. Луноход. Эпизод первый. – URL: <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7253/>.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник статей
XVII Международной научно-технической конференции

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ