

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

---

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Сборник статей  
XVI Международной научно-технической конференции

**27 ноября – 1 декабря 2023 г.**

Томск 2024

УДК 621.002(063)  
ББК 34.4л0  
С56

С56 **Современные проблемы машиностроения** : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 567 с.

Сборник содержит статьи XVI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», проходившей 27 ноября – 1 декабря 2023 г. Конференция работала по секциям: конструирование, расчет и надежность машин; электромеханика и мехатроника; современные производственные технологии; материаловедение и нанотехнологии в машиностроении; автоматизация и моделирование технологических процессов; промышленная безопасность; дизайн и проектирование в машиностроении; 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;  
А.А. Моховиков, кандидат технических наук, доцент 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, старший преподаватель ТПУ;  
М.С. Черемискина, старший преподаватель ТПУ;  
А.М. Богдан, ведущий эксперт организационного отдела ТПУ;  
Т.В. Пегушина, инженер ТПУ.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН.....</b>	<b>17</b>
РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЛЕГЧЕННОЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ АДАПТЕРОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ <i>Галиев А.Р., Есина П.А., Шастовский П.С.</i> .....	18
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ СЛОЁВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ <i>Ванцов С.В., Хомутская О.В., Лийн Е.А.</i> .....	21
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАТОРА ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С РАЗРАБОТКОЙ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ <i>Валеев Н.Р., Мавлеев И.Р., Салахов И.И., Валеев И.Р.</i> .....	24
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДОВ НА ИСТИРАНИЕ <i>Фёдоров Е.М., Косолапов В.Н.</i> .....	27
АЛГОРИТМ РАСЧЁТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ИЗ ПЛАСТИКА <i>Крджацяян А.В.</i> .....	30
УСТРАНЕНИЕ БОКОВОГО ЗАЗОРА В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ <i>Сидоренко А.А., Киплес К., Пустовых И.В.</i> .....	35
АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОРЕННЫХ И ТРАНСМИССИОННЫХ ВАЛОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ <i>Русский Е.Ю.</i> .....	38
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ РОТОРНЫХ УЗЛОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Курпиев М.А., Буханченко С.Е.</i> .....	40
СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАРКАСА АВТОБУСА С УЧЕТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК <i>Кугаевский А.В.</i> .....	42
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Лаубган К.В., Буханченко С.Е.</i> .....	44
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ НА ОПОРУ КАЧЕНИЯ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО САТЕЛЛИТА ПО МЕТОДУ ПРИВЕДЕННОГО УСИЛИЯ <i>Чавров Е.С.</i> .....	46
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ <i>Русин А.А., Нелюбин К.С., Ефременков Е.А.</i> .....	49
РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИЙ ЭНЕРГИИ <i>Авад П.А., Сидорова А.А., Мамонова Т.Е.</i> .....	52
ЭФФЕКТ ДЖАНИБЕКОВА – ВЫНУЖДЕННАЯ ПРЕЦЕССИЯ СВОБОДНОГО ГИРОСКОПА <i>Томилин А.К., Алеев Д.С.</i> .....	57
ПРОЧНОСТНОЙ И УСТАЛОСТНОЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА <i>Дейнинг А.А.</i> .....	61

ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ГЛАЗАМИ ИНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА <i>Авхимович Е.Ю.</i> .....	63
КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР РЕШЕНИЙ ПО АППАРАТУ ИЛИЗАРОВА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Ассаад А., Пашков Е.Н.</i> .....	66
КРИТЕРИИ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ <i>Баловнев Н.П., Бровкина Ю.И., Стариков А.И.</i> .....	68
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА <i>Бессонов А.Е., Михайлов А.В.</i> .....	70
КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДОВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ <i>Богданов Д.А., Буханченко С.Е.</i> .....	72
АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ В САЕ <i>Гундрум А.В.</i> .....	74
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРИЧИН ОТКАЗА СТАНКОВ С ЧПУ <i>Дыров Н.А.</i> .....	76
БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ БЕЗБОЙКОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА <i>Жумадилов Ж.Е., Пашков Е.Н.</i> .....	78
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ <i>Кокорин Д.А., Солодовников Д.С.</i> .....	81
АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ, СНИЖАЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ РЕЗЕРВУАРОВ ТИПА РВС <i>Комаров К.С., Павлов М.С.</i> .....	83
КОНВЕЙЕРНЫЙ 3D-ПРИНТЕР: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Кривошеев Д.Ю.</i> .....	85
ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРЛА <i>Масловский А.А.</i> .....	87
СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛЮЧА ГКШ-1500 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ <i>Низомиддинов М.И., Валитова Е.Ю.</i> .....	90
СРАВНЕНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО, ПНЕВМОУДАРНОГО, ГИДРОУДАРНОГО МЕХАНИЗМОВ В БУРЕНИИ <i>Полищук А.А., Картавый Д.А., Джасем Алаа Али, Пашков Е.Н.</i> .....	93
РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ <i>Рябов А.В., Филипас А.А., Тырышкин А.В.</i> .....	96
УСТАНОВКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВ СУХОЙ ШТУКАТУРКИ ИЗ АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО <i>Губа Э.А., Солодов Е.В., Рыбин А.С.</i> .....	100



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСБАЛАНСА ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ С УЧЕТОМ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ <i>Стрыгин К.В., Ефременков Е.А.</i> .....	102
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАМЫ УСТАНОВКИ ПАЙКИ РОТОРОВ ТВЧ <i>Тюхтенев А.В.</i> .....	104
ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ В САЕ-СИСТЕМАХ <i>Шикотько Д.А.</i> .....	108
ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ МОТОРОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ <i>Алексин А.В., Проскоков А.В.</i> .....	110
МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИПЛИКАТОРНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ <i>Лустенкова Е.С.</i> .....	112
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОЛЕС СФЕРИЧЕСКОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ <i>Сасковец К.В., Моисеенко А.Н., Лустенкова Е.С.</i> .....	114
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Казак А.К.</i> .....	116
О ПРЕИМУЩЕСТВАХ И НЕДОСТАТКАХ ОЧНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ (НА ОСНОВЕ ОПЫТА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН) <i>Арбузов М.О., Некрасов А.Я., Соболев А.Н., Ривкин А.В.</i> .....	118
МАГНИТНЫЕ РЕДУКТОРЫ (ОБЗОР) <i>Нехорошев В.А.</i> .....	122
ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Шейерман Ю.Д.</i> .....	124
СРАВНЕНИЕ КИНЕМАТИКИ 3D ПРИНЕТРОВ <i>Спиненко С.М.</i> .....	126
<b>СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА</b> .....	<b>128</b>
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МИКРОГЭС НА БАЗЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА <i>Однокопылов Г.И., Стоянов А.С.</i> .....	129
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ <i>Глазырин А.С., Попов Е.И., Копырин В.А., Кладиев С.Н.</i> .....	131
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Китаев Д.С., Дранников А.В., Домбровская Я.П.</i> .....	136
ИССЛЕДОВАНИЕ ШИМ-МОДУЛЯЦИИ В АВТОНОМНОМ ИНВЕРТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРЕДМОДУЛЯЦИИ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ <i>Кладиев, С.Н., Тимошкин В.В., Языков Н.Е.</i> .....	138

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ <i>Томилин А.К., Ануфриев М.Д.</i> .....	140
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОЙКИ СРЕДСТВАМИ ПЛК <i>Куренбин А.А., Прорехин Е.Е.</i> .....	145
РОЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ <i>Бирченко Д.А.</i> .....	147
МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНОГО СТОЛИКА МИКРОСКОПА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ <i>Гейс О.Ю., Филипас А.А.</i> .....	149
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ ПО ДЛИНЕ КАБЕЛЯ В СИСТЕМЕ ПЧ-КЛ-ПЭД <i>Кладиев С.Н., Жих С.Р.</i> .....	152
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ <i>Кирильчик Д.Н.</i> .....	154
РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДВУХКООРДИНАТНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ <i>Каракулов А.С., Пономарев К.</i> .....	157
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ <i>Глазырин А.С., Попов С.С., Набунский И.А.</i> .....	159
СНИЖЕНИЕ МЕЖКОММУТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА В БДПТ <i>Ульянов Д.И.</i> .....	161
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK R2021B <i>Усков В.С., Ланграф С.В.</i> .....	164
ОБРАБОТКА ЗАШУМЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ БАЗИСОМ <i>Шокодько Ф.А., Попов С.С., Глазырин А.С.</i> .....	166
<b>СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	<b>168</b>
ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ <i>Баданов И.К., Касьмова Г.А., Баданова Р.Р.</i> .....	169
О СИММЕТРИЧНОМ ОРТОТРОПНОМ ТРЕНИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК <i>Сивцев Н.С., Гвоздкова А.В., Бузилов С.В.</i> .....	172
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ ПУЛЬПЫ <i>Волокитин О.Г., Мингажева Ю.Г.</i> .....	175

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСТРУЗИОННОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ <i>Копытов Г.С., Креницын М.Г.</i> .....	177
НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ <i>Самолук Н.Г., Ломовская С.А.</i> .....	179
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБУЧЕНИИ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ <i>Ломовская С.А., Самолук А.А., Самолук Н.Г.</i> .....	182
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ НИКЕЛИДА ТИТАНА <i>Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Нисс В.С.</i> .....	185
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ <i>Мальшев А.Н.</i> .....	189
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕЛ КАЧЕНИЯ <i>Пищальников Я.И.</i> .....	192
ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ СВОБОДНОМ ТОЧЕНИИ <i>Ефимович И.А., Золотухин И.С.</i> .....	195
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ СВЕРЛЕНИИ СПИРАЛЬНЫМИ СВЕРЛАМИ <i>Чэн Х., Бибики В.Л.</i> .....	197
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ОКРУЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ В ТРЕХМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ <i>Чжан Ц., Лысак Г.В., Сатимов Ш.Ш.</i> .....	201
ПРОБЛЕМА СВАРИВАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ТОЛЩИН ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ 36НХТЮ И 12Х18Н10Т ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОТОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТИ <i>Каргин А.М., Киселев А.С., Гордынец А.С.</i> .....	205
АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ <i>Козлов В.Н., Дин Ц., Чжан Х., Жуй М.</i> .....	209
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ СТАЛИ <i>Козлов В.Н., Бабаев А.С., Шевчук А.С.</i> .....	212
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ <i>Козлов В.Н., Бабаев А.С., Семёнов А.Р.</i> .....	217
ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ПО ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Козлов В.Н., Дин Ц., Чжан Х., Ли В., Ван Ш., Пань Ц.</i> .....	223

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ	
<i>Козлов В.Н., Дин Ц., Чжан Х., Ли В., Ди Ч.</i> .....	225
ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 40Х	
<i>Козлов В.Н., Дин Ц., Чжан Х.</i> .....	228
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ВКНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СВЯЗУЮЩЕГО СЛОЯ АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ	
<i>Гиорбелидзе М.Г., Халитов Б.Л.</i> .....	234
ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ	
<i>Давлатов Г. Д., Сапрыкин А.А.</i> .....	236
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ	
<i>Козлов В.Н., Ван Ш., Пань Ц., Прабово Х., Кумар Р.</i> .....	238
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ Д-144 ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ КЛАССА STAGE II	
<i>Алушкин Т.Е., Мещеряков М.Ю.</i> .....	241
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ	
<i>Дин Ц., Чжан Х., Козлов В.Н.</i> .....	243
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ	
<i>Козлов В.Н., Чжан Х., Дин Ц., Ди Ч., Ван Ш., Пань Ц.</i> .....	247
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «ПЕРЕСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ»	
<i>Пермяков М.Д.</i> .....	251
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИПЛОСКОСТНЫХ ПЕРЕДАЧ С ДРУГИМИ ВИДАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ	
<i>Пуунов А.С.</i> .....	253
ВЛИЯНИЕ МАРКИ ВОЛЬФРАМОВОГО НЕПЛАВЯЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОДА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЗАЖИГАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА	
<i>Пушкарёв А.С., Гордынец А.С., Скрипко С.И.</i> .....	255
РАЗРАБОТКА ПРИНТЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕЦИЗИОННОГО УСТРОЙСТВА ДОЗИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Рагимов Э.Р., Труфанова Н.С., Артищев С.А.</i> .....	257
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛАТУНИ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ИНФРАКРАСНОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА	
<i>Хузнахметов Р.М., Вологжанина С.А., Амяга Д.В., Рамос Веласкес А.</i> .....	260
АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	
<i>Чжан Ц., Ци М., Козлов В.Н., Пань М., Клименов В.А.</i> .....	264
ОБЗОР ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛОВ МЕДЬ-СТАЛЬ	
<i>Чжан Ц., Козлов В.Н., Пань М., Клименов В.А.</i> .....	270

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ <i>Исмаилов Г.М., Логвиненко Е.Е., Корехова А.Р., Гайворонская З.В., Чижик А.Е.</i> .....	274
--	-----

**СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ .....276**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ5 С ВВЕДЕННЫМ ПОРОШКОМ $ZrW_2O_8$ ПОСЛЕ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ <i>Судариков А.В., Колубаев Е.А.</i> .....	277
---	-----

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ <i>Жужгина Т.А., Вологжанина С.А., Скутин В.С.</i> .....	279
---	-----

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ СКАНИРОВАНИЯ НА АМОРФИЗАЦИЮ ЖЕЛЕННОГО СПЛАВА В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ <i>Ерутин Д.П., Попович А.А., Суфияров В.Ш.</i> .....	283
---	-----

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ФТОРИДА МАГНИЯ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ <i>Шевченко И.Н., Хуан Фули, Деулина Д.Е.</i> .....	287
---	-----

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ $Ti_3AlC_2-Cu$ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКСТРУЗИИ МАТЕРИАЛОВ <i>Афанасьев А.О., Криницын М.Г.</i> .....	290
---	-----

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВ МАГНИТОМЯГКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ РАСПЫЛЕНИЕМ РАСПЛАВА <i>Борисов А.Н., Ерутин Д.П., Попович А.А., Суфияров В.Ш.</i> .....	292
--	-----

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ <i>Агапова В.И., Петкова А.П.</i> .....	296
---	-----

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ЛИСТОВЫХ РЕССОР В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ <i>Гильманова А.А., Орлянский В.Е, Лузгин С.В., Валиахметова Д.Р.</i> .....	299
--	-----

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ <i>Данилов Д.М., Никитина Л.П., Тимофеева Е.Н.</i> .....	302
--	-----

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ МАСЛА ПИХТЫ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ <i>Чэнь Сюань, Шевченко И.Н., Ли Сяоянь, Лямина Г.В.</i> .....	304
--	-----

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ SI-AL-N ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ РЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ ALSIRE В АТМОСФЕРЕ АЗОТА И АРГОНА <i>Турсунханова Р.Б., Сергеев В.П.</i> .....	308
РАСЧЕТЫ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА ШВА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АЗОТА <i>Костина В.С., Костина М.В., Кудряшов А.Э., Федорцов Р.С., Спицина И.В.</i> .....	310
СИНТЕЗ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА БЕЗВАКУУМНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА <i>Васильева Ю.З., Некля Ю.А., Сперанский М.Ю.</i> .....	313
ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ЭПХГ <i>Филиппов А.А., Тимофеева Е.Н.</i> .....	315
ВКЛАД ЭЛЕКТРОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРАЕВОЙ ДИСЛОКАЦИИ В РЕЛЬЕФЕ ПАЙЕРЛСА ВО ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ <i>Дежин В.В.</i> .....	317
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ЦИРКОНИЯ <i>Кузьменко Е.Д., Матренин С.В.</i> .....	319
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ФЕРРАТА НАТРИЯ МЕТОДАМИ 3D-ПЕЧАТИ <i>Шарафутдинова Г.Р., Петкова А.П.</i> .....	321
МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА НИКЕЛЯ <i>Леонова Е.С., Кенжиев А., Курдюмов Н.</i> .....	324
FABRICATION AND OPTIMIZATION OF LA-FE-SI ACTIVE MAGNETIC REGENERATOR WITH PARALLEL WIRE GEOMETRY <i>Zhang R.C., Zhang X.X., Qian M.F.</i> .....	326
ЛАМИНИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ Nb/Ti <sub>3</sub> Al(Si)C <sub>2</sub> -TiC: МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И МИКРОСТРУКТУРА <i>Абдульменова А.В.</i> .....	330
ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 12X18H10T ПОСЛЕ ДУПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ <i>Ашихмин Д.А., Воронина Е.Д., Сиделёв Д.В.</i> .....	332
ПЕРЕРАБОТКА КОНЦЕНТРАТА ЦИРКОНА <i>Бембеева В.Э.</i> .....	335
СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ 5 И 6-КОМПОНЕНТНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ HF-ZR-CE-Y-O <i>Булах В.А., Зенкин С.П.</i> .....	337
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОВЛОЖЕНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ СПЛАВА AL40SN, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ <i>Гатаулина М.Р., Акимов К.О., Скоренцев А.Л., Русин Н.М.</i> .....	339

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТРАВМАТОЛОГИИ <i>Костылев В.В., Гребенщикова М.М.</i> .....	342
ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЁННОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА ПО ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ <i>Дудкевич И.А., Ананьева Е.С.</i> .....	344
ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОПОРОШКОВ $Al_2O_3$ -AG, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СУСПЕНЗИЙ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ <i>Евграфов А.М., Илела А.Э., Лямина Г.В.</i> .....	346
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИКОВ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СМЕШАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ <i>Киселев Д.А.</i> .....	348
ВЛИЯНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Корниенко Д.А., Дубинов Ю.С., Галанский А.Н.</i> .....	350
ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СМЕШИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА <i>Лю Юаньсюнь, Ковалевская Ж.Г.</i> .....	352
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА СО СВЯЗКОЙ ИЗ КАРБОНИТРИДА ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ <i>Павлов С.С., Андрианов М.А., Юрков А.Л.</i> .....	354
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНОГО ШВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ <i>Юсуфбеков А.А., Колесникова К.А., Гальченко Н.К.</i> .....	358
ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ <i>Сидоренко А.А., Киппес К.</i> .....	360
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БЫЛО, ЕСТЬ К ЧЕМУ СТРЕМИТЬСЯ <i>Ураймахунов Р.Р., Сорокова С.Н.</i> .....	362
<b>СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....</b>	<b>364</b>
КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРОЕННОГО ДЕФЛЕГМАТОРА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ <i>Баяндина М.М., Кустов А.В.</i> .....	365
АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ POWERFATORY: МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ <i>Гордин С.А., Мотовилов Е.С., Воронин В.А.</i> .....	367
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ТКАНИ ПО ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ И ЕГО АВТОМАТИЗАЦИЯ <i>Баданов И.К., Баданова Р.Р., Тулендиева Г.О.</i> .....	371
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СТАТИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ НА ДИАГНОСТИКУ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ <i>Баркова Н.А., Егорова А.Д., Сокирка А.В.</i> .....	374

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЁТА УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ <i>Нелюбин К.С., Русин А.А., Ефременков Е.А.</i> .....	380
ОЦЕНКА РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РЕАКТОРА ИРТ-Т <i>Кублинский М.К., Смольников Н.В., Наймушин А.Г.</i> .....	383
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR BRAIN LESION SEGMENTATION IN MRI IMAGES <i>Ван Юйцянь, Аксёнов С.В.</i> .....	385
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПЛОСКОГО МАНИПУЛЯТОРА И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕЖДУ НИМИ <i>Воронцов Д.Н.</i> .....	387
АВТОМАТИЗАЦИЯ НАПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ БАЗ ДАННЫХ С ORM ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА <i>Морев Д.А., Шанин С.А.</i> .....	391
ЛАЗЕРНЫЙ СТАНОК РАСКРОЯ МЕТАЛЛА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ <i>Насыбуллин Ф.Ф., Хисамутдинов Р.М.</i> .....	394
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ СУЛЬФАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ <i>Пархоменко Э.А., Губа Э.А., Прокопьева О.В., Зарипова А.С., Солодов Е.В.</i> .....	397
РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ПО СТАНДАРТУ IEC 61499 ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА <i>Федотов А.Д.</i> .....	399
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА УСРЕДНЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКА <i>Смирнов Л.Ю., Сизов С.И., Ефремов Е.В., Фейгин А.И.</i> .....	401
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕЩЕНИЯ ПОРОШКА СО СТЕАРАТОМ ЦИНКА <i>Хохленков М.Е., Сизов С.И., Ефремов Е.В., Фейгин А.И.</i> .....	404
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДИСПЕРГАТОРОВ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН <i>Кушнер Л.Е., Никульчиков А.В.</i> .....	406
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА ГРАНУЛИРОВАНИЯ <i>Семенов Д.Ю., Сизов С.И., Ефремов Е.В., Фейгин А.И.</i> .....	409
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ В ВАКУУМЕ <i>Лысак Г.В., Сорокова С.Н.</i> .....	412
<b>СЕКЦИЯ 6. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</b> .....	<b>415</b>
БИОДЕГРАДАЦИЯ НА ВТОРОМ ДЕСЯТКЕ ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т.</i> .....	416
КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Пилипец Н.В., Штенцов Д.Г., Матвеев А.П., Сечин А.И.</i> .....	419



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КЛИМАТОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	
<i>Гусак Д.В.</i> .....	421
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗАПА	
<i>Пилипец Н.В., Матвеев А.П., Сечин А.И.</i> .....	424
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТНЫХ МОДЕЛЕЙ	
<i>Гительман В.С., Головченко С.С.</i> .....	426
НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТАМ НА ВЫСОТЕ	
<i>Антоневич О.А., Авдеева И.И., Романцов И.И.</i> .....	428
ВАРИОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГА ГОРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕШЛАМОГО АМБАРА	
<i>Сечин А.А., Сечин А.И.</i> .....	430
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ	
<i>Мезенцева И.Л., Сечин А.А., Сечин А.И.</i> .....	432
<b>СЕКЦИЯ 7. ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....</b>	<b>434</b>
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АРОМАЛАМПЫ	
<i>Буберев Г.В., Кухта М.С.</i> .....	435
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	
<i>Есина П.А., Галиев А.Р., Корнев В.М.</i> .....	439
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТЕЗОВ КЛАПАНОВ СЕРДЦА	
<i>Местеховская Л.А., Соколов А.П.</i> .....	441
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН СИСТЕМЫ АВТОПОЛИВА КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ	
<i>Курпиев М.А., Кухта М.С.</i> .....	444
РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОРМУШЕК ДЛЯ ПИТОМЦЕВ	
<i>Зайцева Е.М.</i> .....	446
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМУ СИМВОЛОВ МОДЕРНА	
<i>Сазонова Е.М.</i> .....	450
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ФРЕЗЕРОВЩИКА	
<i>Медведева Е.Н., Кухта М.С.</i> .....	454
МОНТАЖ КУПОЛЬНЫХ СТРОЕНИЙ	
<i>Щербакова П.С.</i> .....	456
МЕХАНИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННОГО АРТ-ОБЪЕКТА	
<i>Лобова О.А., Соколов А.П.</i> .....	459
ВИРТУАЛИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДИЗАЙНЕРА	
<i>Лапина С.В.</i> .....	463
ПРОБЛЕМА РЕСУРСОЗАТРАТНОСТИ В ПРОЦЕССЕ КОВКИ	
<i>Гайворонская К.Н.</i> .....	467

РАЗРАБОТКА И ДИЗАЙН ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ГРЕЛКИ <i>Лаубган К.В., Кухта М.С.</i> .....	470
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КАПСУЛЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ СВЕТО-СЕНСОРНОЙ АКТИВАЦИИ <i>Козаченко Е.Е., Кухта М.С.</i> .....	473
ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦВЕТНОГО ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАМЕРНОГО ТЕАТРА И МАЛЫХ СЦЕН <i>Плецинская А.И.</i> .....	476
ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА РОССИЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ <i>Симанович Е.Е.</i> .....	478
НАСТЕННОЕ ПОДЪЁМНОЕ УСТРОЙСТВО <i>Моховиков Д.А., Шутяев В.С.</i> .....	481
ЦВЕТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ТВОРЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС <i>Будницкая А.И., Окороков Е.А.</i> .....	485
ВЛИЯНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАТОРА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И СОЗДАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Сидоренко А.А., Ван Шэнчнь</i> .....	487
<b>СЕКЦИЯ 8. НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ</b> .....	<b>489</b>
ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ ОДНОУРОВНЕВЫХ ТРАМВАЙНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ <i>Красильников П.А., Роменский Д.Ю.</i> .....	490
ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ <i>Умарова Б.А.</i> .....	495
АНАЛИЗ ЧИСТОТЫ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ В БАКАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	500
ОЦЕНКА РАБОТЫ СИСТЕМЫ «ДВС – МАСЛО» ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	502
ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ КОЛЕСНЫХ ДОРОЖНЫХ МАШИН <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	505
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	507
СНИЖЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ТОПЛИВНЫХ БАКАХ МАШИН <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	510
К ВОПРОСУ О ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОЧИСТКЕ МАСЛА <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i> .....	513
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ <i>Зиятдинов Р.Р.</i> .....	515

ТЕПЛОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ НОРМАТИВНЫХ И СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ МАШИН И АГРЕГАТОВ <i>Калиниченко В.С., Мусатова Ю.С., Власов Ю.А.</i> .....	517
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ СМАЗКИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНЫХ И САМОХОДНЫХ МАШИН <i>Мещеряков М.Ю., Клименов В.А.</i> .....	519
<b>ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ ЮНЫЙ ТЕХНИК</b> .....	<b>521</b>
ПРИЛОЖЕНИЕ «РАЗВЛЕКАТЕЛЬНАЯ ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ» <i>Ананин А.И., Федин А.Д., Бударев К.А., Чащин В.М.</i> .....	522
ПРИЛОЖЕНИЕ «НЕКСТБОТ VR» <i>Верлинский М.В.</i> .....	524
ПРОБЛЕМЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЛЬС ПАССАЖИРСКИХ КРЕСЕЛ САМОЛЁТОВ АН-24 И АН-26-100 <i>Глушков А.И.</i> .....	525
ПРИЛОЖЕНИЕ «ДРОН-КОНСТРУКТОР» <i>Гончаров М.В., Попков М.А., Капитоненко И.А., Вялов А.М.</i> .....	528
СОЗДАНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ТОМСКА <i>Ефремов К.Б., Батухтин А.А.</i> .....	530
ПРОТОТИП ДОСТУПНОГО ФОТОСЕПАРАТОРА <i>Котлевский Д.О.</i> .....	533
АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА СВИРСКОГО РУДОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА ООО «КОМПАНИЯ ВОСТСИБУГОЛЬ» <i>Лагутин М.С., Филимонов Е.В., Зырянов А.В., Кузякин А.А.</i> .....	535
3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАК ВОЗМОЖНОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Луковников Н.С.</i> .....	538
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ <i>Макаров И.В., Остапенко А.В., Бывшенко А.В.</i> .....	540
НАГЛЯДНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ИНСУЛЬТЕ <i>Пантюхина Л.Ю., Сергеева З.А.</i> .....	543
ПРИЛОЖЕНИЕ «АБИТУРЕЙД VR» <i>Решетова С.А., Тюрин Н.О., Железняк И.В., Байдали М.С., Святный М.А.</i> .....	546
УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА И ВЫДАЧИ ПРЕДМЕТОВ <i>Ронжин М.И., Кульков А.Т.</i> .....	549
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВСТРАИВАНИЯ ЗАШИФРОВАННОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИЗОБРАЖЕНИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ МЕТОДОВ ЗАМЕНЫ ПИКСЕЛЕЙ И ШИФРА ЦЕЗАРЯ <i>Сагайдашный Д.К., Перекальский И.Н.</i> .....	551

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕГРАМ-БОТОВ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>Самылов Н.А, Перекальский И.Н.</i> .....	556
ПРИЛОЖЕНИЕ «VR PUZZLE»	
<i>Тюменцев Е.Н, Дырин А.И, Ли Л.О., Ли Ю.О., Черкасов Р.С., Соловьев И.Д., Конев И.С.</i> .....	558
ПРИМЕНЕНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКСКУРСИЯХ НА ПРИМЕРЕ МУЗЕЯ ТОМСКОГО ПРИБОРНОГО ЗАВОДА	
<i>Чумаров А.А.</i> .....	560
«МОДЕЛИЗМ»	
<i>Шадрин Д.А.</i> .....	562
ПРИЛОЖЕНИЕ «ЗАТМЕНИЕ»	
<i>Плашевский М.В., Яковлева Е.А., Рыбалков Д.В.</i> .....	566

**СЕКЦИЯ 1**  
**КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

## РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЛЕГЧЕННОЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ АДАПТЕРОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Галиев А.Р., Есина П.А., Шастовский П.С.

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнёва

РФ, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: albert-galiev-2001@mail.ru, polina\_alex13@mail.ru

Ферменные конструкции космических аппаратов (КА) являются важной частью космических систем, отвечающих за соединение и разделение различных ступеней ракеты. Адаптер КА – это техническое устройство получившее широкое распространение в конструкциях современных летательных аппаратов, предназначенное для связи космического аппарата с ракетой-носителем (РН) или разгонным блоком, основной задачей которого является создание жесткой системы. Адаптер играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности запуска полезной нагрузки, а также в распределении нагрузки на ракету. Данные конструкции должны удовлетворять целому ряду требований, среди которых: удобство эксплуатации, эффективное создание, относительно малый вес.

Развитие конструкций классических адаптеров для ракет-носителей началось в середине 20-го века, в связи с наращиванием космической индустрии и запуском первых искусственных спутников Земли. В 1950-х годах начались первые успешные испытания ракет-носителей, таких как Р-7 и Сатурн-1, которые использовали адаптеры для соединения различных модулей и ступеней ракеты. При развитии конструкций адаптеров и стремлении к повышению эффективности запусков, появилась потребность в более легких и компактных адаптерах. В результате этого были разработаны более облегченные, цилиндрические и конические сетчатые оболочки, изготовленные из композиционных материалов методом непрерывной намотки (рис. 1) [1].

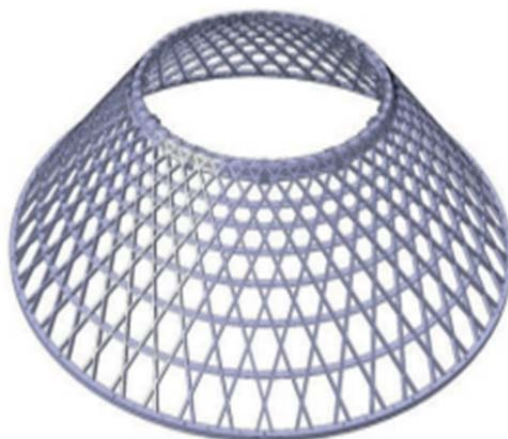


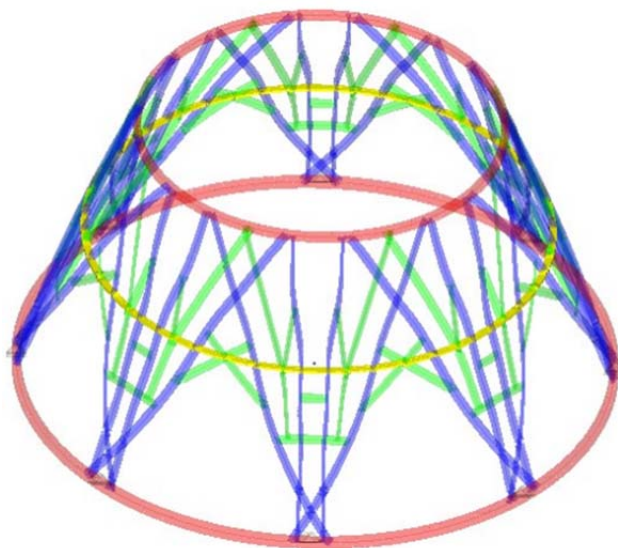
Рис. 1. Конический адаптер АО «ИСС» им. М.Ф.Решетнёва

Получаемые ферменные конструкции адаптеров основаны на использовании специальной технологии и материалов, таких как композиционный материал, который обладает высокой прочностью и легкостью. Данные адаптеры производятся АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнёва и позволяют снизить массу конструкции и их размеры без ущерба для прочности и надежности.

Одним из главных преимуществ облегченной ферменной конструкции является ее легкость и компактность. При снижении массы адаптера, увеличивается полезная нагрузка, выводимую на орбиту, что является основной задачей, которую решает адаптер. Кроме того, облегченная ферменная конструкция обеспечивает более гибкую адаптацию к различным типам носителей. Благодаря использованию композитных материалов, адаптеры

могут быть изготовлены различных форм и размеров, что позволяет точнее соответствовать требованиям конкретной задачи ракеты-носителя.

Среди научных работ на тему: «Адаптеры космических аппаратов для ракет-носителей» особый интерес вызывает ферменная конструкция с оптимизированной топологией стержней с целью уменьшения веса адаптера (рис. 2) [2].



*Рис. 2. Конический адаптер с оптимизированной топологией*

Однако данная конструкция имеет некоторые недостатки на этапах производства:

1. Проектирование. Создание сложной формы стержней требует более сложного и точного проектирования. Необходимо учесть множество факторов, таких как механические нагрузки, вибрации, термический режим и другие. Это требует высокой и точной оценки, использования специализированного программного обеспечения для моделирования и анализа.

2. Выбор материала. Использование легких материалов для создания облегченных адаптеров может быть затруднительным из-за сложной формы стержней. Некоторые материалы могут плохо поддаваться обработке или иметь ограничения по формовке. Также, выбор материала должен учитывать требования прочности и жесткости, чтобы обеспечить безопасность и надежность адаптера.

3. Производство. Изготовление адаптеров со сложной формой стержней может быть трудоемким и требовательным процессом. Точность и качество изготовления играют важную роль в обеспечении надежности эксплуатации адаптера. Поэтому необходимо использовать современное оборудование и технологии, чтобы гарантировать соответствие требованиям.

4. Тестирование. Проверка и испытание облегченных адаптеров со сложной формой стержней также может оказаться проблематичным. Испытания должны быть проведены для проверки прочности, жесткости, устойчивости к вибрациям и другим факторам. Это может потребовать разработки специальных методик и испытательного оборудования. В целом, создание облегченных адаптеров космических аппаратов со сложной формой стержней требует специализированного оборудования и технологий, а также тщательного проектирования, изготовления и тестирования.

Вследствие проведенного анализа недостатков облегченной ферменной конструкции с оптимизированной топологией можно сделать вывод, что создание предложенной конструкция не является целесообразным, т. к. именно сетчатая конструкция позволяет добиться максимальной весовой отдачи при отработанной и при этом менее затратной технологии производства. Однако методика, по которой была оптимизирована топология адаптера показала хороший результат при идентичных нагрузках и является перспективной.

### **Список литературы**

1. Обзор конструкций адаптеров современных космических аппаратов. Сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-konstruktsiy-adapterov-sovremennyh-kosmicheskikh-apparatov> (дата обращения: 28.03.2023).

2. Baldzhiev R.S., Alekseyev A.A. Topology optimization of the lattice payload adapter for carrier rocket. сайт. – 2019. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/356405443\\_Topology\\_optimization\\_of\\_the\\_lattice\\_payload\\_adapter\\_for\\_carrier\\_rocket](https://www.researchgate.net/publication/356405443_Topology_optimization_of_the_lattice_payload_adapter_for_carrier_rocket) (дата обращения 17.08.2023)

3. Сабиров Р.А. Методы расчета напряженно-деформированного состояния стержней и стержневых систем: учебное пособие для студентов высших учебных заведений РФ, обучающихся по специальности 160801 «Ракетостроение» и 160802 «Космические летательные аппараты и разгонные блоки». 2008. – 274, [1] с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-86433-403-4



## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ СЛОЁВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Ванцов С.В.<sup>1</sup>, Хомутская О.В.<sup>2</sup>, Лийн Е.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,  
институт № 3, кафедра 307, доцент*

*E-mail: van2851@mail.ru*

<sup>2</sup>*«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,  
институт № 3, кафедра 307, доцент*

*E-mail: khomutskayaov@gmail.com*

<sup>3</sup>*«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,  
институт № 3, кафедра 307, аспирант*

*E-mail: elijn@bk.ru*

Увеличение плотности монтажа и повышение класса точности печатных плат приводит к увеличению требований к точности позиционирования элементов печатной платы. Особенно важным это требование становится в производстве многослойных плат, в которых некачественное совмещение слоёв может привести к неисправимому производственному браку. Последнее связано не столько с погрешностями выполнения отдельных технологических операций, сколько с характеристическими свойствами материала диэлектрического основания слоёв печатной платы, определяющими его склонность к плоской деформации.

Традиционным, наиболее часто используемым материалом диэлектрического основания является стеклотекстолит, представляющий собой слоистую структуру из стеклоткани и различного вида смол, чаще всего эпоксидной смолы. Этим определяются и физико-механические характеристики таких материалов. Наиболее существенными из них являются анизотропия свойств по объёму материала и зависимости твёрдости от температуры.

Деформация слоя печатной платы проявляется в первую очередь величиной перемещений участков печатной платы относительно друг друга, которая зависит:

- от случайного сочетания факторов, удерживающих отдельные участки слоя, как единого целого;
- состояния технологической среды;
- внешних воздействий, влияющих на величину смещения разнородных по свойствам участков.

Для печатных плат случайное сочетание факторов зависит от физико-механических свойств материала печатной платы. Состояние среды зависит от параметров технологических операций, при которых они осуществляются.

Внешние воздействия в значительной мере определяются состоянием плоских поверхностей слоя печатной платы, а именно наличием или отсутствием слоя меди на поверхности слоя. Последнее определяется заданной топологией платы. Изначально топология платы задаётся конструктором, исходя из целесообразности размещения дискретных элементов на плате и передачи управляющих сигналов внутри реализуемой электрической схемы.

Отсюда возникает задача предсказания изменения расположения отдельных участков печатной платы в ходе осуществления каждой технологической операции и компенсации этих изменений на этапе проектирования и конструирования печатной платы.

На деформацию многослойной печатной платы в целом оказывают влияние такие технологические операции, как: сверление базовых и переходных отверстий; травление слоёв для получения рисунка печатной платы; прессование слоёв платы [1].

Влияние этих операций на величину плоской деформации печатной платы заключается в следующем:

Процесс сверления заключается в удалении части армирующего поверхностного слоя меди и части тела диэлектрического основания, что в целом ослабляет жёсткость слоя платы и, отчасти, способствует появлению релаксирующих усилий за счёт снижения степени внутренних напряжений материала основания.

Процесс травления выполняется с целью получение печатного рисунка и заключается в удалении значительной части армирующего слоя меди, что в ещё большей степени приводит к явлениям снижения жёсткости слоя и увеличению релаксирующих воздействий.

Процесс прессования слоёв оказывает наибольшее влияние на деформацию уже ослабленной на предыдущих операциях жесткости слоя за счёт внешнего силового и теплового воздействий. Последнее в наибольшей степени проявляется с учётом физико-механических свойств слоистых пластиков на базе терморепактивных полимеров.

С увеличением количества отверстий уменьшается количество базового материала, что естественным образом ведёт к уменьшению жесткости основания платы и создаёт предпосылку к увеличению степени деформации слоя при проведении технологических операций.

В качестве параметров, характеризующих расположения отверстий можно выделить расстояние между отверстиями, а также диаметр отверстий. Такой подход позволяет экспериментально выявить зависимости деформации участков слоя печатной платы, а именно зависимостей математического ожидания от диаметра сквозного отверстия, от расстояния между сквозными отверстиями и от толщины печатной платы, а также среднеквадратического отклонения от тех же величин [2].

Принцип выявления таких зависимостей базируется на анализе наложений двух изображений: анализируемого и эталонного.

В качестве реперных точек для получения расчетных данных при определении величины деформации используются центры сквозных отверстий. Разница в смещении реперных точек на эталонном и анализируемом изображении позволяет определить в целом величину плоской деформации слоя, возникшей в результате осуществления определённой технологической операции.

Эксперимент включает в себя следующие этапы:

1. Получение изображения поверхности слоя до осуществления технологической операции.
2. Получение изображения поверхности слоя после осуществления технологической операции.
3. Определение центров отверстий на изображениях.
4. Приведение центров отверстий на сравниваемых изображениях к единой системе координат.
5. Расчёт величин смещения центров отверстий.
6. Построение регрессионной модели деформации слоя.

Эксперимент по оценке влияния технологической операции сверления отверстий в печатной плате был проведен на 180 заготовках с более чем 100 тысячами успешно распознанных на изображениях отверстий.

Результаты оценки математического ожидания величины деформации в зависимости от расположения отверстий и их диаметра приведены на рис. 1.

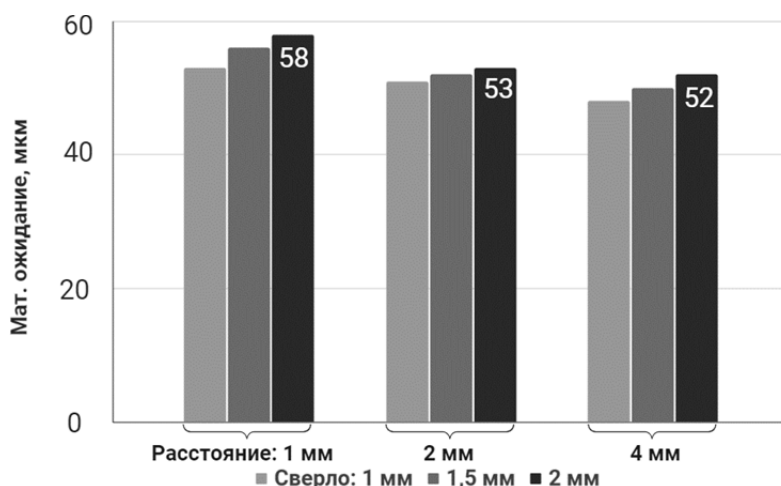


Рис. 1. Диаграмма результатов оценки деформации

На основании этой диаграммы можно сделать выводы, что при увеличении диаметра сверла математическое ожидание модуля длины вектора смещения отверстий увеличивается, плата деформируется сильнее; при увеличении расстояния между отверстиями математическое ожидание модуля длины вектора смещения отверстий уменьшается, плата деформируется меньше.

Экспериментально полученные значения СКО значений деформации представляют собой практически линейные ниспадающие зависимости от расстояния между центрами отверстий и возрастающие от диаметров отверстий.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук (МК–582.2022.4).*

#### **Список литературы**

1. Никитин С.Л., Поздняков К.Е., Хомутская О.В., Оценка деформации печатных плат // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2019. – № 5 (00186). – С. 144–150.
2. Куликов Н.С., Хомутская О.В., Ванцов С.В., Цифровой метод автоматизированной оценки деформации печатной платы // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2018. – № 2(173). – С. 186–191.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАТОРА ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С РАЗРАБОТКОЙ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ**

*Валеев Н.Р., старший преподаватель*

*423812, Набережночелнинский институт филиал ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Автомобильное отделение,  
Республика Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Сююмбике, д. 10а,  
тел. 8-917-272-49-97,  
E-mail: bhp19850302@mail.ru*

*Мавлеев И.Р., к.т.н., доцент*

*423812, Набережночелнинский институт филиал ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Автомобильное отделение,  
Республика Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Сююмбике, д. 10а,  
тел. 8-906-118-47-27,  
E-mail: mirkampi@mail.ru*

*Салахов И.И., к.т.н., доцент*

*423812, Набережночелнинский институт филиал ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Автомобильное отделение,  
Республика Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Сююмбике, д. 10а,  
тел. 8-927-677-88-80,  
E-mail: udmkpfu210@mail.ru*

*Валеев И.Р., студент гр. 1221349*

*423812, Набережночелнинский институт филиал  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
Автомобильное отделение,  
Республика Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Сююмбике, д. 10а,  
тел. 8-927-042-16-71,  
E-mail: valeev\_irek\_90@mail.ru*

В настоящее время для повышения конкурентоспособности производимых серийных и проектируемых автомобилей при рассмотрении вариантов достижения цели по повышению потребительских свойств автомобилей, а также совершенствования систем управления пневматическими подвесками возникают задачи о необходимости пересмотра конструктивных элементов узлов стабилизирующих устройств подвески, пересмотра их геометрических размеров, характеристик. Основными предпосылками для пересмотра являются введение резинометаллических шарниров (сайлентблоков) в шарнирных соединениях основных составных частей стабилизирующих устройств взамен устоявшимся пластмассовым «втулкам» и «подушкам» стабилизаторов в целях увеличения интервала технического обслуживания данного узла.

Актуальностью является то, что для возможности ответа на этот вопрос необходимы целенаправленные поиск, анализ, доводка информации в существующих литературных источниках, в ряде нормативных документах, а также необходимы совершенствования приведённых в них расчётных формул, методик испытаний. При этом следует иметь в виду, что во время пересмотра конструктивных элементов узлов стабилизирующих устройств подвески, пересмотра их геометрических размеров, характеристик должно сохраняться функциональное предназначение стабилизатора поперечной устойчивости.

Стабилизатор поперечной устойчивости подвески выполняя, в какой-то мере, функции упругого элемента, одновременно может выполнять функции направляющего устройства подвески.

Применять его в качестве ограничителя хода отбоя не рекомендуется в связи с тем, что в случае неверного относительного подбора жесткостных характеристик его шарнир-

ных соединений стойки и штанга СПУ могут принять не благоприятные для других узлов автомобиля положения, выходящие за пределы своей рабочей зоны (траектории).

Стабилизатор подвески устанавливают:

- а) при недостаточной угловой жёсткости подвески;
- б) высоком расположении центра крена, масс подрессоренных частей автомобиля и, преимущественно, в передней подвеске [1].

При оценке необходимости установки стабилизатора подвески требуется прежде всего определить положение центра крена и коэффициент угловой жёсткости каждой в отдельности подвески, которые зависят от кинематической схемы их направляющих устройств [3].

Установка СПУ в передней подвеске, обеспечивающая повышение её угловой жёсткости при неизменной угловой жёсткости задней, приводит к снижению чувствительности автомобиля к повороту руля. Тот же стабилизатор подвески, установленный сзади, не меняя суммарной угловой жёсткости подвески, при действии на автомобиль боковых сил обеспечит увеличение увода задних колёс и повышение чувствительности автомобиля к управлению [2].

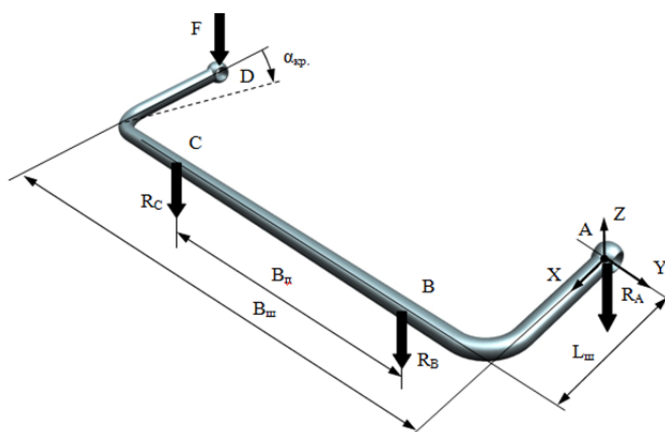


Рис. 1. Схема нагружения штанги СПУ, путём приложения силы в опорную точку D

1. Составляем систему уравнений:

$$\sum M_{ix} = R_B \cdot \frac{B_{ш} - B_n}{2} + R_C \cdot (B_n + \frac{B_{ш} - B_n}{2}) + F \cdot \cos \alpha_{кр} \cdot B_{ш} = 0, \quad (1)$$

$$\sum M_{iy} = R_B \cdot L_{ш} + R_C \cdot L_{ш} + F \cdot \cos \alpha_{кр} \cdot (L_{ш} - L_{ш} \cdot \cos \alpha_{закр}) = 0, \quad (2)$$

$$\sum Z_i = -R_A - R_B - R_C - F \cdot \cos \alpha_{кр} = 0. \quad (3)$$

где  $X, Y, Z$  – оси координат, относительно которых проводится проекция сил, а также определяется расположение штанги СПУ в пространстве, точки  $A, D$  – места крепления проушин рычагов штанги к стойкам СПУ автомобиля, точки  $B, C$  – места крепления торсионной части штанги СПУ к мосту автомобиля,  $F$  – сила, действующая на рычаг СПУ под действием крена подрессоренной части относительно неподдресоренной части автомобиля,  $\alpha_{кр}$  – разность углов наклона между рычагами штанги СПУ, градус,  $R_A, R_B, R_C$  – реакция в опорных точках крепления штанги СПУ от воздействия силы  $F$ , Н,  $L_{ш}$  – длина рычага штанги СПУ, мм,  $B_{ш}$  – межосевое расстояние между рычагами штанги СПУ, мм,  $B_n$  – межосевое расстояние между креплениями торсионной части штанги СПУ к мосту, мм.

Решая, систему уравнений получим:

2. Рассматриваем (3):

$$\begin{aligned} \sum Z_i &= 0, \\ -R_A - R_B - R_C - F \cdot \cos \alpha_{кр} &= 0, \\ R_A &= -(R_B + R_C + F \cdot \cos \alpha_{кр}). \end{aligned} \quad (4)$$

3. Рассматриваем (2):

$$\sum M_{iy} = 0,$$

$$\begin{aligned}
R_B \cdot L_{ш} + R_C \cdot L_{ш} + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot (L_{ш} - L_{ш} \cdot \cos \alpha_{xp}) &= 0, \\
R_B \cdot L_{ш} + R_C \cdot L_{ш} + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot L_{ш} - F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot L_{ш} &= 0, \\
R_B + R_C + F \cdot \cos \alpha_{xp} - F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} &= 0, \\
R_B &= F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} - F \cdot \cos \alpha_{xp} - R_C, \\
R_B &= F \cdot (\cos^2 \alpha_{xp} - \cos \alpha_{xp}) - R_C.
\end{aligned} \tag{5}$$

4. Рассматриваем (1):

$$\begin{aligned}
\Sigma M_{ix} &= 0; \\
R_B \cdot \frac{B_{ш} - B_n}{2} + R_C \cdot (B_n + \frac{B_{ш} - B_n}{2}) + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} &= 0, \\
R_B \cdot \frac{B_{ш} - B_n}{2} + R_C \cdot \frac{B_{ш} + B_n}{2} + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} &= 0, \\
R_B \cdot B_{ш} - R_B \cdot B_n + R_C \cdot B_{ш} + R_C \cdot B_n + 2 \cdot F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} &= 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

5. Подставив формулу (5) в (7) получим:

$$\begin{aligned}
F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_{ш} - F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} - R_C \cdot B_{ш} - F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_n + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_n + \\
+ R_C \cdot B_n + R_C \cdot B_{ш} + R_C \cdot B_n + 2 \cdot F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} &= 0, \\
F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_{ш} - F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_n + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_n + 2 \cdot R_C \cdot B_n + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш} &= 0, \\
R_C &= F \cdot \frac{\cos^2 \alpha_{xp} \cdot (B_n - B_{ш}) - \cos \alpha_{xp} \cdot (B_n + B_{ш})}{2 \cdot B_n}.
\end{aligned} \tag{8}$$

6. Имея преобразование (8) и подставив в формулу, (6) получим:

$$\begin{aligned}
R_B &= F \cdot (\cos^2 \alpha_{xp} - \cos \alpha_{xp}) - F \cdot \frac{\cos^2 \alpha_{xp} \cdot (B_n - B_{ш}) - \cos \alpha_{xp} \cdot (B_n + B_{ш})}{2 \cdot B_n}, \\
R_B &= \frac{2 \cdot F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_n - 2 \cdot F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_n - F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_n + F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_{ш} + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_n + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш}}{2 \cdot B_n}, \\
R_B &= \frac{F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_n - F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_n + F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} \cdot B_{ш} + F \cdot \cos \alpha_{xp} \cdot B_{ш}}{2 \cdot B_n}, \\
R_B &= F \cdot \frac{\cos^2 \alpha_{xp} \cdot (B_n + B_{ш}) - \cos \alpha_{xp} \cdot (B_n - B_{ш})}{2 \cdot B_n}.
\end{aligned} \tag{9}$$

7. Имея преобразование (5) и подставив в формулу, (4) получим:

$$\begin{aligned}
R_A &= -(R_B + R_C + F \cdot \cos \alpha_{xp}), \\
R_A &= -(F \cdot \cos^2 \alpha_{xp} - F \cdot \cos \alpha_{xp} - R_C + R_C + F \cdot \cos \alpha_{xp}), \\
R_A &= -F \cdot \cos^2 \alpha_{xp}.
\end{aligned} \tag{10}$$

### Список литературы:

1. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчёта. Осеичугов В.В., Фрумкин А.К. Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
2. Конструкция автомобиля. Шасси/ Под общ. ред. Карунина А.Л. – М.: МАМИ, 2000 – 528 с.
3. Проектирование полноприводных колёсных машин: учебник для вузов: П79 В 3 т. Т. 3 / Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Жеглов Л.Ф. и др. Под ред. Полунгяна А.А. – М.: Изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 432 с.: ил.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДОВ НА ИСТИРАНИЕ

Фёдоров Е.М., к.т.н., доцент отделения контроля и диагностики ТПУ  
Косолапов В.Н. студент группы 1БМ32  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: vnk11@tpu.ru

На сегодняшний день кабельно-проводниковая продукция является неотъемлемой частью во всех сферах деятельности человека. Чтобы гарантировать надежный и продолжительный срок службы, а также обеспечить необходимую безопасность эксплуатации кабелей, необходимо контролировать соответствие требованиям изоляционного покрытия. Применение различных методов контроля изоляции неотъемлемая часть любого кабельного производства.

Провода эмалированные круглые обычно используются в электромоторах, генераторах, трансформаторах, соленоидах, катушках и других устройствах, где требуется создание индуктивности или электромагнитного поля. Они широко применяются в промышленности, автомобильной отрасли, энергетике, электронике, медицинской технике и других областях, где требуется эффективная работа электрических систем.

Изоляция проводов эмалированных круглых играет ключевую роль в обеспечении электрической изоляции между проводником и окружающей средой, предотвращая короткое замыкание и нежелательные электрические взаимодействия. Вид изоляции, применяемый в проводах эмалированных круглых, обычно представлен эмалевым покрытием.

В ходе работы изучены государственные стандарты Российской Федерации для проведения испытаний на истирание, проведён обзор существующих приборов, также определены основные этапы конструирования.

Проведение испытаний на истирание изоляции проводов выполняются согласно ГОСТ 14340.10-69, а также ГОСТ 15634.2-70. Производится отбор образцов, а затем применяется скребковый прибор, который состоит из электродвигателя, эксцентриком скребка со стальной иглой на конце и привода электродвигателя с редуктором. Для создания необходимой нагрузки на иглу используется набор грузов. Также прибор оснащен приспособлением для закрепления и поворота подвергаемого испытанию образца в необходимое положение и реле автоматического отключения двигателя при разрушении испытуемого образца (возникновении контакта между проволокой и иглой) и счетчика числа полных двойных проходов иглы. Прибор должен соответствовать технической документации, утвержденной в установленном порядке.

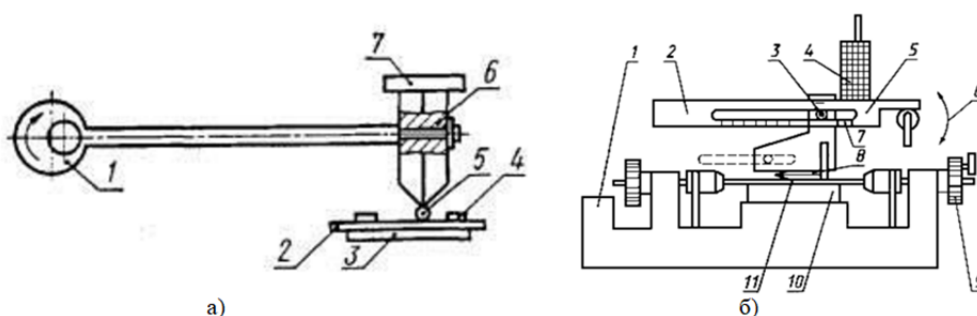


Рис. 1. Схематическое изображение рабочей части скребка.

а – истирание иглой диаметром 0,4 мм:

1 – эксцентрик; 2 – образец провода; 3 – пластина для крепления образцов; 4 – зажим;  
5 – игла; 6 – головка скребка; 7 – груз.

б – истирание иглой диаметром 0,23 мм:

1 – основание; 2 – фиксированная точка вращения; 3 – указатель; 4 – груз; 5 – нагружающее истирающее устройство (рычаг); 6 – устройство возврата рычага; 7 – шкала  
с указанием коэффициента; 8 – игла; 9 – планшайба для изменения угла на 120°;  
10 – опора, перемещающаяся по высоте; 11 – испытуемый образец



Испытание, схематически изображенное на рисунке 1, б, проводятся только в одном направлении, также состоит из большого числа компонентов, что реализовать сложнее, ввиду вышеперечисленных факторов не найдено приборов, работающих по данной схеме.

Для проведения испытаний механической прочности изоляции обмоточных проводов истиранием в соответствии с требованиями ГОСТ 15634.2-70, ГОСТ 14340.10-69 существуют оборудования для испытаний обмоточных проводов, такие как: СДИ-1, производимый томской компанией ООО «НПО Редвилл», а также прибор, изготавливаемый ООО «Электроннефтемаш» (рис. 2), основные технические характеристики приборов описаны в табл. 1.



Рис. 2. Стенды. а – прибор ООО «НПО Редвилл»; б – прибор ООО «Электроннефтемаш»

Таблица 1

Основные технические характеристики приборов, проводящих испытание на истирание

Диаметр испытательной иглы, мм	СДИ-1	МПГ10-1
для испытаний по ГОСТ 15634.2-70		0,6
для испытаний по ГОСТ 14340.10-69		0,4
Длина хода иглы, мм		10±1
Скорость движения иглы, двойных ходов в минуту	60	60±3
Напряжение между иглой и испытуемым образцом, В	12	12±1
Ток срабатывания реле, мА	5	5±1
Собственный вес скребка с иглодержателем, не более, кг	0,1	не указано
Время срабатывания реле	0,1–0,15 с	125÷25 мс
Максимальное количество двойных ходов иглы	999999	не указано
Нагрузка на иглу регулируемая, кг	0.1÷1.2	0.01÷1,4
Диаметр испытываемого провода, мм	0.3÷6.3	0.2÷7
Возможность поворота образца:		
для испытаний по ГОСТ 15634.2-70	180°	нет
для испытаний по ГОСТ 14340.10-69	±120°	нет
Возможность хранения в памяти предыдущих испытаний	до 9	нет
Наличие цифрового интерфейса	USB 1.0	не указано
Потребляемая мощность, не более, Вт	20	60
Габариты д×в×г, не более мм	350×340×250	292×320×183
Масса, не более, кг	18	10

Основываясь на вышесказанный литературный обзор, можно с уверенностью сказать, что каждый из вышеупомянутых методов представляет собой достаточно эффективный инструмент оценки пригодности изоляции проводов. По данным из таблицы 1 и рисунку 2, видим, что более экономичным, функциональным, современным и эргономичным является прибор ООО «НПО Редвилл». Результаты контроля позволяют своевременно воздействовать на технологический процесс, а существование сертифицированных приборов говорит о востребованности проведения испытаний.



### Список литературы

1. ГОСТ 15634.2-70 Провода обмоточные. Метод испытания механической прочности изоляции на истирание [Текст]. – Введ. 1971.01.01. Официальное издание – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999 год.
2. ГОСТ 14340.10-69. Провода эмалированные круглые. Методы испытания механической прочности изоляции на истирание [Текст]. – Введ. 1974.01.01. Официальное издание – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999 год.
3. ГОСТ Р 51804-2001 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий [Текст]. – Введ. 2002.07.01. Официальное издание – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 год.
4. ГОСТ 30630.0.0-99 методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий [Текст]. – Введ. 2000.09.01. Официальное издание – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000 год.
5. ГОСТ 28214-89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов [Текст]. – Введ. 1990.03.01. Официальное издание – М.: Стандартиформ, 2006 год.
6. ООО «НПО Редвилл» официальный сайт, [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://redwill.ru/>. (дата обращения: 13.03.2022). – Текст: электронный.
7. ООО «Электроннефтемаш» официальный сайт, [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://elektroneftemash.ru/index.php>. (дата обращения: 13.03.2022). – Текст: электронный.

## АЛГОРИТМ РАСЧЁТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ИЗ ПЛАСТИКА

*Крджаян А.В., студент гр.4А01  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
тел. (3822) 701-777  
E-mail: AVK253@tpu.ru*

В современном машиностроении наиболее распространенный тип передачи – зубчатые передачи. Существует несколько типов зубчатых передач, которые отличаются формой зуба, углом наклона зубьев и другими параметрами. Наиболее распространенные типы зубчатых передач включают прямозубые, косозубые и шевронные зубчатые передачи. Зубчатые передачи обладают рядом преимуществ: высокая точность передачи вращательного движения, возможность передачи больших мощностей при малых габаритах, долговечность и надежность, простота обслуживания и ремонта.

Составим алгоритм расчета и конструирования зубчатых передач из пластика состоит из следующих действий:

### **Определение нагрузки**

Необходимо рассчитать нагрузку, которую будет испытывать зубчатая передача, включая крутящий момент, осевые силы и радиальные силы. Это важно для определения необходимого материала и размеров передачи.

### **Выбор материала**

При выборе материала для зубчатой передачи необходимо учитывать следующие факторы:

- нагрузка, которую будет испытывать передача. Чем больше нагрузка, тем прочнее должен быть материал;
- условия эксплуатации, если передача будет работать в условиях повышенной влажности, то необходимо выбирать материал, который не подвержен коррозии;
- требования к точности передачи. Для высокоточных передач необходимо использовать материалы с низкой деформацией при нагрузке;
- стоимость материала, некоторые материалы могут быть дороже других, но они могут обеспечить лучшее качество передачи. Обычно для изготовления зубчатых передач используются стали, чугуны, пластмассы, керамику и другие материалы. Выбор материала зависит от конкретных условий эксплуатации и требований к передаче.

При выборе материала для зубчатой передачи из пластика нужно учитывать такие факторы, как прочность на изгиб, жесткость, модуль упругости, износостойкость, устойчивость к химическим воздействиям и температурным изменениям. Часто используются полиамиды, полиацетали, полиоксиметилены или полипропилен.

Также пластмассовые зубчатые передачи имеют ряд особенностей, которые делают их привлекательными для использования в некоторых случаях, например:

- низкая плотность, пластмассы имеют значительно меньшую плотность, чем металлы, что позволяет снизить вес зубчатой передачи и уменьшить инерцию;
- легкость обработки, пластмассы легко обрабатываются, что упрощает процесс изготовления зубчатых колес;
- устойчивость к коррозии, пластмассовые зубчатые колеса не подвержены коррозии, что делает их идеальным выбором для работы в условиях высокой влажности;
- широкий выбор материалов, существует множество различных видов пластмасс, которые могут быть использованы для изготовления зубчатых передач. Это позволяет выбрать материал, который наилучшим образом соответствует требованиям конкретного приложения;

- низкий уровень шума, пластмассовые зубчатые передачи обычно производят меньше шума, чем металлические, что может быть важным фактором в тех случаях, когда оборудование должно работать бесшумно или когда шум может мешать другим процессам или людям. Например, в медицинских учреждениях, где шум может мешать пациентам или персоналу, часто используются пластмассовые зубчатые передачи для снижения уровня шума. В промышленных установках, где шум может распространяться на большие расстояния и мешать другим рабочим;

- экономичность, производство пластмассовых зубчатых передач обычно обходится дешевле, чем металлических, что делает их привлекательным вариантом;

- возможность использования при высоких температурах. Некоторые виды пластмасс могут использоваться при высоких температурах без потери своих свойств, что делает их подходящими для применения в высокотемпературных приложениях.

### Определение геометрических параметров

Определение требуемых геометрических параметров зубчатой передачи, такие как числа зубьев, межосевое расстояние, ширина венца, угол наклона зубьев и форма зуба (прямозубая, косозубая или шевронная).

Определение и расчет основных геометрических параметров цилиндрической зубчатой передачи. Из опыта конструирования зубчатых механизмов известно, что диапазон выбора количества зубьев имеет ограничение в виде предельного минимального значения числа зубьев шестерни  $Z_1 \geq 17$ . Формула расчета модуля  $m$ , мм, для заданных исходных данных при диаметре делительной окружности

$$d = \frac{2a_w u}{u + 1}$$

$$m = \frac{2a_w}{[z_1(u + 1)]}$$

$$a_w = K_a(u_B + 1)^3 \sqrt{\frac{K_H T_{1b}}{\psi_{ba} u_B [\sigma]_{HB}^2}}$$

Значения модулей регламентируются ГОСТ 9563–60. Путем изменения числа зубьев шестерни  $z_1$  (17, 18...) и межосевого расстояния  $a_w$  определяется модуль  $m$  стандартного ряда, так как передаточное отношение  $u$  известно. При этом следует учитывать, что чем больше зубьев у шестерни, тем плавнее ход зубчатой передачи, но при этом будет ослаблена выносливость зубьев при изгибе.

Далее рассчитываются геометрические параметры зубчатой передачи:

Число зубьев колеса:

$$z_s = \frac{2a_w \cos \beta_{min}}{m}$$

$$z_1 = \frac{z_s}{u + 1}$$

$$z_1 min = 17 \cos^3(\beta_{min})$$

$$z_2 = z_s - z_1$$

Диаметры колес и шестерни:

Шестерни:

$$d_1 = \frac{z_1 m}{\cos \beta}$$

Колеса внешнего зацепления:

$$d_2 = 2a_w - d_1$$

Диаметр вершин зубьев шестерни:

$$d_{a1} = d_1 + 2m$$

Диаметр вершин зубьев колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2m$$

Диаметр впадин зубьев шестерни:

$$d_{f1} = d_1 - 2.4m$$

Диаметр впадин зубьев колеса:

$$d_{f2} = d_2 - 2.4m$$

Минимальный угол наклона зубьев, например, для косозубой передачи:

$$\beta_{min} = \arcsin\left(\frac{3.45m}{b_2}\right)$$

### Проверка зубьев колеса и шестерни по контактным напряжениям и напряжениям изгиба

Эта проверка проводится для того, чтобы убедиться, что зубья колеса и шестерни выдерживают нагрузки, которые они будут испытывать в процессе эксплуатации. Если напряжения превышают допустимые значения, то зубья могут сломаться, что приведет к выходу из строя всего механизма.

Расчётное значение контактного напряжения:

$$\sigma_H = \frac{Z_\sigma}{a_w} \sqrt{\frac{K_H T_1 (u_\phi + 1)^3}{b_2 u_\phi}}$$

где  $K_H = K_{Hv} K_{H\beta} K_{H\alpha}$  – коэффициент нагрузки в расчетах на контактную выносливость. где  $K_{H\beta} K_{H\alpha}$  – коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения нагрузки между зубьями и по ширине венца соответственно,  $K_{Hv}$  – динамический коэффициент, зависящий от окружной скорости колес  $u_\phi$  – фактическое передаточное число  $u_\phi = \frac{z_2}{z_1}$ ,

где  $\Delta = \frac{u - u_\phi}{u} < 4\%$ .

Силы зацепления:

Окружная:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 T}{d}$$

Радиальная:

$$F_r = \frac{F_t \cdot \tan \alpha}{\cos \beta}$$

Осевая:

$$F_a = F_t \tan \beta$$

В зубьях колеса:

$$\sigma_{F2} = \frac{K_F F_t}{b_2 m} Y_{FS2} Y_\beta Y_\epsilon \leq [\sigma]_{F2}$$

В зубьях шестерни:

$$\sigma_{F1} = \frac{\sigma_{F2} Y_{FS1}}{Y_{FS2}} \leq [\sigma]_{F1}$$

### Конструирование колёс зубчатой передачи

На основе рассчитанных параметров проектируется зубчатая передача, учитывая требования к точности, шероховатости поверхности и допуски на размеры.

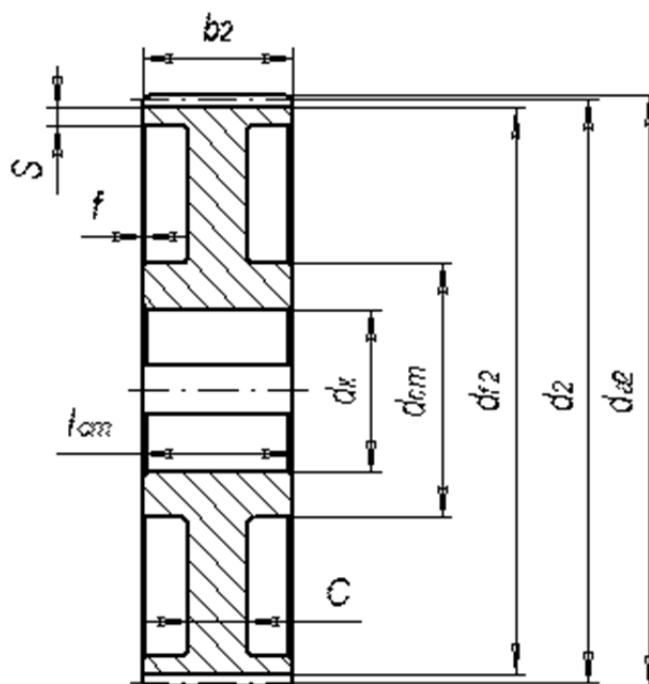


Рис. 3. Конструктивные размеры зубчатого колеса

Длина ступицы тихоходного вала

$$l_{CT} = (1.2 \div 1.6) \cdot d$$

Диаметр ступицы

$$d_{CT} = 1,6 \cdot d$$

Ширина торцов зубчатого венца

$$S = 2,2 \cdot m + 0,05 \cdot b_2$$

Фаска

$$f = 0,6 \cdot m$$

Толщина диска

$$C \approx b_2 \cdot (0,35 \dots 0,4)$$

Диаметр обода

$$D_0 = d_{f2} - 2 \cdot S$$

Диаметры центровых окружностей

$$D_{отв} = 0,5(D_0 + d_{CT})$$

$$d_{отв} = \left( \frac{D_0 - d_{CT}}{4} \right)$$

Толщина обода

$$\delta_0 = (2,5 \div 4)m_n$$

Таким же образом рассчитываем для быстроходной ступени.

Пластмассовые зубчатые передачи являются альтернативой металлическим передачам в некоторых приложениях благодаря своим преимуществам при определённых обстоятельствах, таким как низкая плотность, легкость обработки, устойчивость к коррозии, широкий выбор материалов и низкий уровень шума. Однако их прочность и долговечность могут быть ниже, чем у металлических передач, особенно при высоких нагрузках или температурах. В целом, выбор между пластмассовой и металлической зубчатой передачей зависит от требований конкретной задачи и условий эксплуатации.

### Список литературы

1. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – 9-е изд., перераб. и доп. – М. Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с

2. Старжинский В.Е., Шалобаев Е.В., Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Ишин Н.Н., Гоман А.М. Зубчатые передачи с пластмассовыми колесами: автоматизированное проектирование передач и формообразующих матриц // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. № 5–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zubchatye-peredachi-s-plastmassovymi-kolesami-avtomatizirovannoe-proektirovanie-peredach-i-formoobrazuyuschih-matrits> (дата обращения: 13.10.2023).

3. Пластмассовые зубчатые колеса в передачах точного приборостроения / В.Е. Старжинский, О.В. Гаврилова, В. Краузе и др.; Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 358 с.

4. LOAD-BEARING OF AXLE-BOX ASSEMBLIES/ Cheremiskina M.S., Pashkov E.N. // Journal of Economics and Social Sciences. 2020. № 16 (16). С. 40–43.

## УСТРАНЕНИЕ БОКОВОГО ЗАЗОРА В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

Сидоренко А.А.<sup>1</sup>, Купнес К.<sup>2</sup>, Пустовых И.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4НМ31,

E-mail: aas292@tpu.ru;

<sup>2</sup>ТЭПК, группа 0137з,

E-mail: ms.kkiissss@yandex.ru

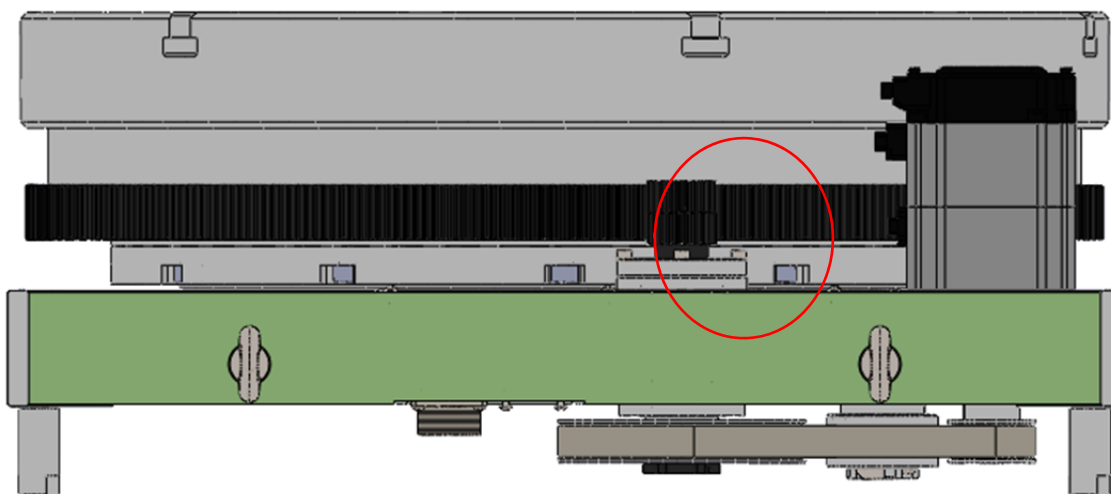
<sup>3</sup>ООО НПК «ТЭТА»

Одной из главных проблем машиностроительного комплекса на сегодняшний день является тотальный износ основных фондов оборудования, который по экспертным оценкам превысил 50 %. Коэффициент обновления или модернизации оборудования, на протяжении последних лет составляет 1–1,5 %. Доля оборудования старше 20 лет превышает 40 % [1]. Модернизация парка оборудования приводит к тому, что разрабатываются отдельные узла, которыми заменяют вышедшие или устаревшие части оборудования (шпиндель, поворотный стол и т. д.).

При изготовлении поворотного стола для высокоточного оборудования, вращение которого происходит за счет зубчатого зацепления, огромное внимание уделяют точности изготовления деталей механизма. Слабо развитый парк зубонарезных станков на предприятиях региона, не позволяет получать высокоточные детали (зубчатые колеса). Повышение точности перемещения поворотного стола, основанного на зубчатом зацеплении, возможно за счет исключения бокового зазора между зубьями шестерни и колеса.

Существует множество вариаций узлов способных устранить данную проблему, достаточно добавить несколько модификаций в зацепление и из неточных передач, получаем готовое зацепление с необходимой точностью. Стоимость изготовления данного зацепления в разы меньше, чем стоимость изготовления на высокоточных станках. Реализация этого может быть достигнута разными способами.

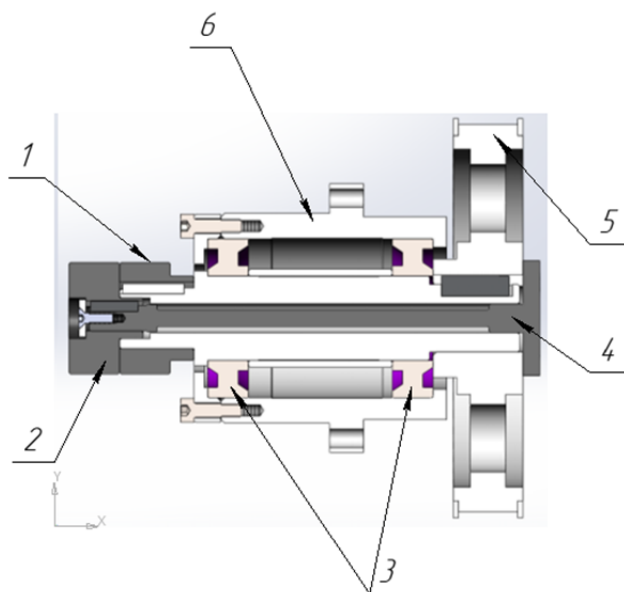
### *Устранение бокового зазора зубчатой передачи с помощью торсиона*



*Рис. 1. Поворотный стол*

На рисунке 1 показан поворотный стол, где компенсация бокового зазора происходит за счет установки торсиона в узел. Механизм для компенсации зазора представляет собой узел, состоящий из двух шестерен. Принцип работы данного механизма, следующий: в процессе монтажа зубчатой пары торсион устанавливают в отверстие на валу (рис. 2), далее взводят торсион и устанавливают вторую шестерню. Так как торсион находится в рабочем состоянии, то он стремится повернуться в состояние покоя проворачивая шестерню поз. 2 относительно шестерни поз. 1 в противоположную от вращения сторону. Шестерни в этот момент находятся в зацеплении с зубчатым колесом поворотного

стола, который не позволяет полностью повернуться шестерни поз. 2 относительно оси вращения, т. е. шестерни относительно друг друга проворачиваются на незначительную величину. Благодаря этому происходит выборка бокового зазора.

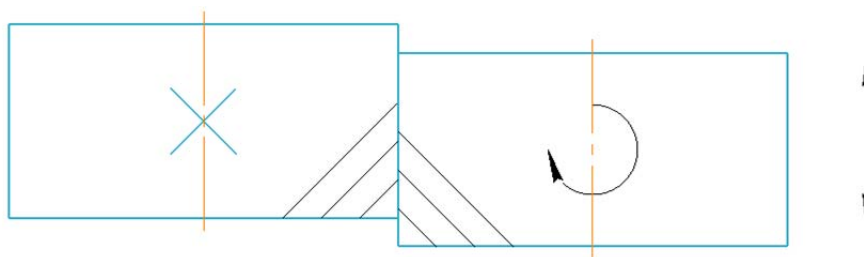


*Рис. 2. Торсионный механизм для компенсации бокового зазора поворотного стола  
1 – шестерня, установленная на вал; 2 – шестерня, установленная на торсион; 3 – подшипники скольжения;  
4 – торсион; 5 – шкив зубчато-ременной передачи*

К преимуществам данного механизма можно отнести следующее: простота конструкции; малые габариты; легкость обслуживания. Но есть и недостатки: в длительный период работы происходит расслабление торсиона и требуется дополнительная переналадка; воспринимает небольшие нагрузки; изменение точности, можно заметить только после серьезных отклонений позиционирования планшайбы; требуется постоянный контроль зацепления.

#### *Компенсация бокового зазора с помощью косозубой передачи*

Принцип работы основан на особенности косозубой зубчатой передачи. Зубья шестерен расположены под углом к оси вращения и образуют часть спирали. При условии фиксации одного колеса в зубчатой паре и перемещении подвижного вдоль оси вращения, будет осуществляться вращательно-поступательное движение второго по винтовой образующей зафиксированного колеса.



*Рис. 3 Схема компенсации зазора с помощью косозубого зацепления*

Изготавливается узел, содержащий зубчатое косозубое зацепление с передаточным числом равным 1 и двумя выходными валами, который устанавливается в поворотный стол. На выходные участки валов насаживаются шестерни входящие в зацепление с колесом поворотного стола, вращение которых противоположно друг другу. После установки узла необходимо производится регулировка бокового зазора. Для этого на ведомом валу проворачивают фиксирующую гайку на определенное количество оборотов, тем самым проворачивая шестерню до устранения бокового зазора. Пакет тарельчатых пружин, входящий в состав узла, создаёт постоянную нагрузку для фиксирования шестерни в необхо-



димом положении и выступает в роли демпфера, компенсируя все неточности изготовления зубчатого венца.

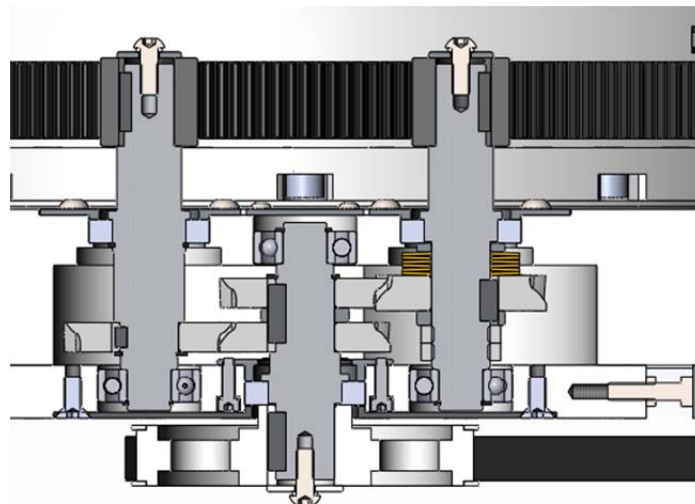


Рис. 4. Узел, для компенсации бокового зазора основанный на косозубом зацеплении

К преимуществам данного узла относят: простоту конструкции; однократную настройку; демпфирующие свойства тарельчатых пружин.

К недостаткам можно отнести отсутствие свободного пространства около поворотного стола для регулировки после установки и габариты.

#### Устранение зазора в червячной передаче [2]

Внедрение в червячную передачу второго червяка компенсирует люфт передачи. На рисунке 5 представлена принципиальная схема реализации.

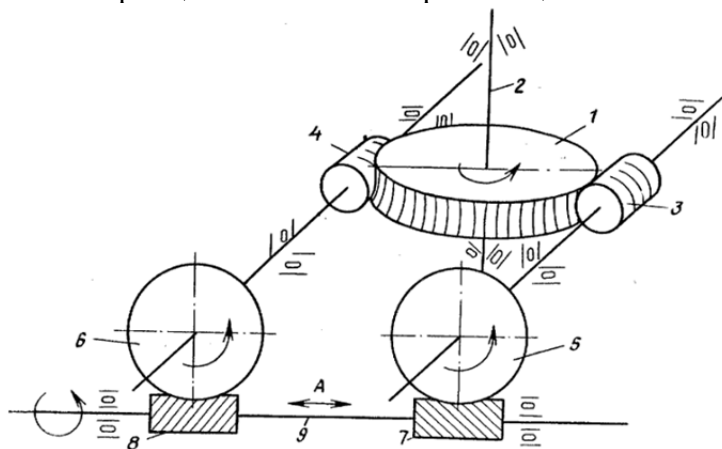


Рис. 5. Принцип работы безлюфтовой червячной передачи

Устранение бокового зазора в реверсивной передаче, осуществляется за счет установки на параллельных осях червяков устанавливаются дополнительные червячные колеса, зацепленные с правым и левым червяками соответственно, размещенными по общему валу. Общий вал установлен таким образом, что имеет возможность совершать как поступательное, так и вращательное движение.

Исходя из рассмотренных вариантов компенсации люфта в зубчатом зацеплении, можно разработать точную передачу используя не точное и не дорогое оборудование.

#### Список литературы

1. <https://pronowosti.ru/2019/10/01/razvitie-metalloobrabotki-i-stankostroeniya-v-rossii/>
2. <https://patents.su/2-492696-chervyachnaya-peredacha-s-ustrojstvom-dlya-ustraneniya-zazora.html>

# АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОРЕННЫХ И ТРАНСМИССИОННЫХ ВАЛОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Русский Е.Ю.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
заведующий лабораторией рудничной аэродинамики

E-mail: geomining@mail.ru

В процессе работы вентиляторный агрегат подвержен действию сил различного характера, вызывающих, в том числе, опасные колебания и повышенную вибронпряженность. Работа с повышенной вибрацией приводит к преждевременному выходу из строя узлов ротора – подшипниковых опор, уплотнений в системах смазки, пальцевых муфт (соединяющих электродвигатель с трансмиссионным валом и трансмиссионный вал с коренным валом ротора), подшипниках систем поворота лопаток рабочего колеса [1]. Также возможно задевание рабочих лопаток о корпус, поломка ротора и др. В некоторых случаях уровень вибраций повышается при определенных скоростях вращения, когда частота внешней вынуждающей силы совпадает или оказывается близкой к частоте собственных колебаний ротора вентилятора, т. е. когда наступает резонанс. Такие скорости вращения называются критическими [2].

Изгибные колебания трансмиссионных и коренных валов рассчитываются для определения частоты собственных колебаний и отстройки собственных частот от частот возмущающих сил. Силы, вызывающие изгибные колебания трансмиссионных и коренных валов шахтных вентиляторов, являются следствием возникновения нестационарных режимов при работе вентиляторного агрегата (например, при разгоне, регулировании частоты вращения и выбеге вентилятора при торможении), а также различного вида нарушений, к которым относятся [3, 4]: конструктивные, технологические, производственные, эксплуатационные и т. д.

На стадии проектирования необходимо обеспечить не только минимальную массу узлов вентилятора, но и надежность эксплуатации, которая зависит, в том числе, от амплитуд изгибных и крутильных колебаний конструкции. При модернизации вентиляторов серий ВОД и ВОКД изменяется компоновка вентилятора, т. к. его ротор содержит не два рабочих колеса, а только одно.

В практике вентиляторостроения встречаются различные компоновки одноступенчатых осевых вентиляторов.

Исследуем вентиляторные агрегаты с различными компоновками (рис. 1) для определения зон устойчивой работы, что позволит дать рекомендации при их модернизации и для проектирования новых машин.

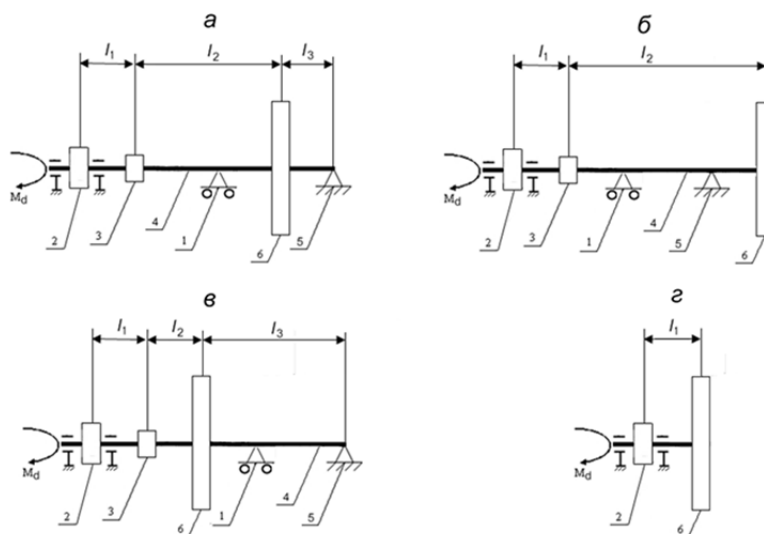


Рис. 1. Различные компоновки одноступенчатого вентиляторного агрегата:  
1, 5 – подшипниковые опоры; 2 – приводной электродвигатель; 3 – зубчатая муфта;  
4 – коренной вал; б – рабочее колесо;  $M_d$  – крутящий момент электродвигателя

Одна из простых схем, которую часто применяют для расчета собственных поперечных колебаний валов ротора в сборе, является двухмассовая дискретная модель. Рассматривая изгибные колебания коренных валов по компоновкам *a*, *б*, *в*, *г*, рис. 1.

Частоты  $p_{1,2}$  двухмассовой модели вычисляются из решения векового уравнения [5]:

$$(-m_1 p^2 - A)(-m_2 p^2 - D) - BC = 0,$$

где 
$$A = -\frac{a_{22}}{a_{11}a_{22} - a_{12}^2}, B = C = \frac{a_{12}}{a_{11}a_{22} - a_{12}^2}, D = -\frac{a_{11}}{a_{11}a_{22} - a_{12}^2} \quad (*)$$

Здесь  $a_{ij}$  ( $i, j = 1,2$ ) – перемещение массы  $i$  при приложении единичной поперечной силы к валу в сечении с массой  $j$ . Эти коэффициенты находятся различными способами, один из которых – использование интегралов Мора [6].

Решая уравнение (\*) для компоновок вентиляторов, представленных на рис. 1 с соответствующими граничными условиями, получим значения собственных частот изгибных колебаний коренных валов в зависимости от диаметра вала, представленные на рис. 2.

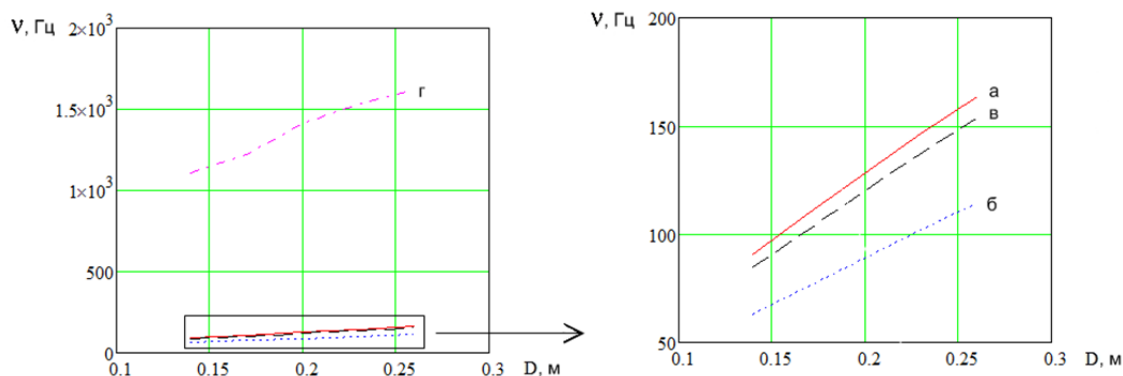


Рис. 2. Графики зависимостей второй частоты собственных изгибных колебаний коренных валов от диаметра  $D$  для компоновок, *a*, *б*, *в*, *г*

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что компоновки *a* и *б*, рис. 2, являются наиболее рациональными, так как обладают наибольшей жесткостью и, соответственно, более высокими собственными частотами изгибных колебаний. При компоновке *в*, диаметре коренного вала от 0,14 до 0,20 м и рабочих частотах вращения от 800 до 1000 об/мин, возможен резонанс с первой собственной частотой изгибных колебаний.

Коренной вал при компоновке *г* является самым жестким, но применение такой конструкции существенно ограничено: консольное крепление РК на валу электродвигателя накладывает жесткие требования к валу и подшипниковым узлам электродвигателя, усложняет последующее обслуживание вентилятора.

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ номер гос. регистрации № 121052500147-6.

### Список литературы

1. Бессонов А.П. Динамика машин. М.: Наука, 1980. – 168 с.
2. ГОСТ ИСО 1940-1-2007 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса.
3. Косых П.В., Красюк А.М., Русский Е.Ю. О влиянии частотно регулируемого электропривода на изгибные колебания ротора шахтного вентилятора // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2018. – Т. 5. – № 2. – С. 255–260.
4. Красюк А.М. Влияние возмущений от воздушного потока на НДС основных узлов ротора вентилятора главного проветривания / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский // *Горное оборудование и электромеханика*. № 1, 2012. – С 24 – 31.
5. Красюк А.М. О расчетной схеме для исследования изгибных колебаний ротора вентилятора главного проветривания / А.М. Красюк, П.В. Косых. *Горное оборудование и электромеханика*, 2017. – №4 – С. 41–45.
6. Баженов В.А. Численные методы в механике. М.: Высшая школа, 2005. – 564 с.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ РОТОРНЫХ УЗЛОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Курпиев М.А., студент-магистрант гр. 4НМ21*

*Буханченко С.Е., к.т.н., доцент*

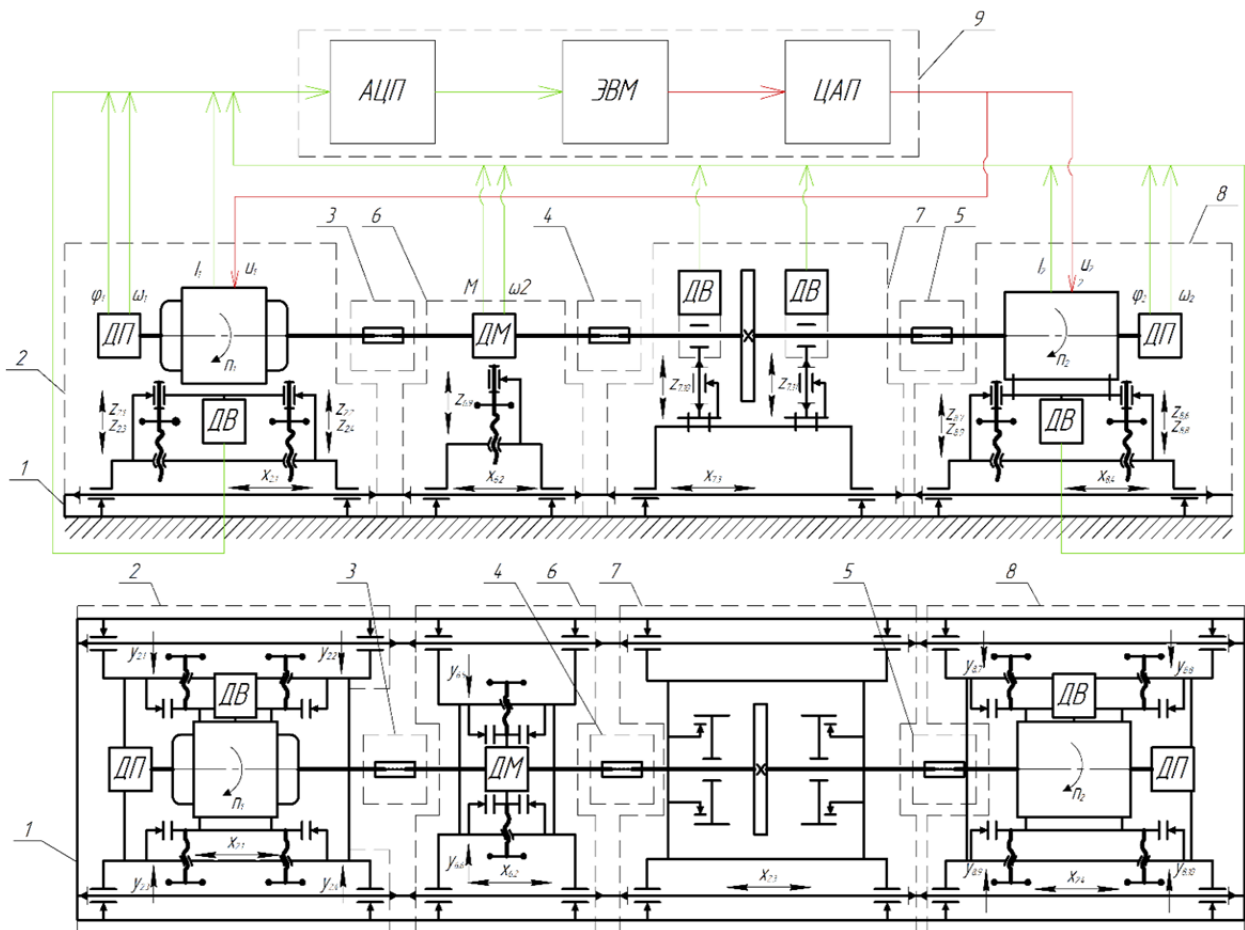
*ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»*

E-mail: mak72@tpu.ru

В настоящее время обострилась проблема формирования правильного представления о работе технических систем у представителей ИТР, к которым относятся как обучающиеся СПО и ВУЗов, так и специалисты профильных компаний, занимающихся разработкой и эксплуатацией сложных технических систем с активной механической частью.

Целью данной работы является создание автоматизированного комплекса модульного типа для моделирования негативного влияния несоосности и дисбаланса наиболее распространенных механических передач.

Первым этапом данной работы являлась разработка компоновочного решения принципиальной схемы, которая представлена на рис. 1.



*Рис. 1. Принципиальная схема Комплекса*

При разработке принципиальной схемы автоматизированного комплекса моделирования роторных узлов технических систем (далее Комплекс) рассматривались различные варианты объединения модулей в единую моделируемую техническую систему.

Комплекс в максимальном исполнении может состоять из 9 основных частей: основание 1, модуль приводной 2 (МП), модуль механических передач 3–5 (ММП), модуль измерительный 6 (МИ), модуль моделирования дисбаланса 7 (ММД), модуль испытуемых приводов 8 (МИП), модуль управления 9 (МУ).

При моделировании дисбаланса роторного узла, Комплекс работает следующим образом:

На основании 1 устанавливается и фиксируется в требуемом положении МП 2, на электродвигатель которого поступает сигнал с МУ 9 для передачи вращения на МИП 8 по требуемому закону во времени через ММД 7. Показания с датчиков положения и вибрации, встроенных в МИП 8 поступают в МУ 9. Соединение между модулями осуществляется посредством использования ММП 3–5, которые могут представлять собой предохранительные муфты различных типов: упругие, компенсирующие, кулачковые, электромагнитные и гидравлические.

Кроме того, в ММП 3–5 возможно применение открытых механических передач: ременных, с использованием клиновидных, плоских и круглых ремней; цепных передач. Регистрация характеристик, передаваемых от приводного двигателя МП 2 в испытуемый привод МИП 8 осуществляется посредством МИ 6, в который входит датчик момента.

В ММД 7, МП 2 и МИП 8 во время вращения могут возникать вибрации из-за дефектов подшипниковых опор, дисбаланса дисков, низкой жесткости опорных пластин и иных причин. Вибрацию, которая возникает в узлах, регистрируют датчики вибрации, передавая данные на МУ 9 посредством АЦП.

Создание или устранение вибраций возможно посредством выполнения следующих действий:

- установки грузов на диски роторного модуля ММД 7;
- изменения жесткости опорных пластин ММД 7;
- замены подшипников в ММД 7;
- устранение несоосности расположения модулей МП 2, МИ 6, ММД 7, МИП 8 посредством их регулировки в пространстве подвижными элементами Комплекса;
- использование вышеописанного ММП 3–5.

МИП 8 позволяет использовать различные типы испытуемых приводов. Так, в качестве приводов возможно использование различных типов электрических двигателей: асинхронных, синхронных, шаговых и постоянного тока.

Помимо этого, МИП 8 позволяет монтировать на него генераторы; редукторы, тем самым появляется возможность создания типовых эксплуатационных условий.

При моделировании несоосности располагающихся на основании 1 модулей МП 2, МИ 6, ММД 7, МИП 8 возможно применение лазерной системы центровки валов, которая позволяет установить прибор на Комплекс, выставляя положение модулей посредством регулировочных механизмов, достигая требуемой соосности.

Примитивной схемой центровки может считаться установка на основание 1 МП 2 и МИП 8, связанных между собой ММП 3-5.

Таким образом, в рамках текущей задачи, была описана принципиальная схема Комплекса, его достоинства, краткое описание устройства работы.

### **Список литературы:**

1. Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 1 / А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 120 с.

2. Трофимов А.Н. Концепция обратной связи в динамике механических систем и процессы динамического гашения колебаний. Автореферат дисс. к.т.н. – Иркутск, 2012.

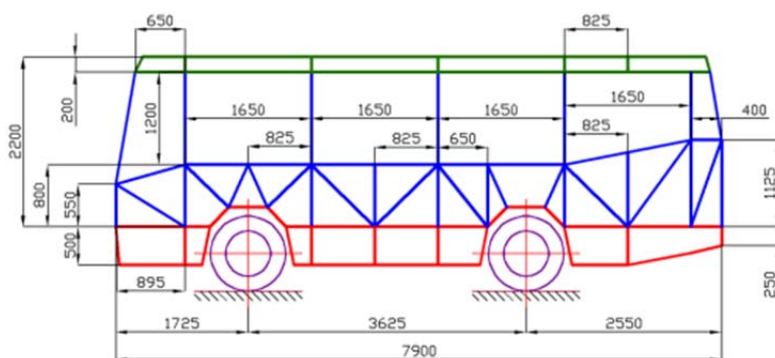
3. Вибрация в технике: справочник в 6 т. / под ред. В.Н. Челомея. – М: Машиностроение, 1978. Т. 6. – 456 с.

## СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАРКАСА АВТОБУСА С УЧЕТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК

*Кугаевский А.В., студент группы 4А21  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
тел. (3822) 701-777  
E-mail: avk296@tpu.ru*

Ежедневно автобусы перевозят сотни людей. ДТП с участием автобусов характеризуются серьёзными травмами и ранениями, получаемыми пассажирами во время аварии. Хорошо известно, что опрокидывание – один из наиболее опасных видов ДТП, хотя происходят они не так часто, как лобовое или боковое столкновения. Тем не менее, в соответствии со статистикой, процент погибших и тяжело раненых людей больше в случаях опрокидывания, чем в других видах аварийных ситуаций. Повышение пассивной безопасности автобусов возможно и может быть достигнуто за счет применения прочных и безопасных кузовных конструкций. В связи с этим различные конструкторские бюро и предприятия проводят анализ слабых мест кузовной части автобуса и ведут разработки по упрочнению.

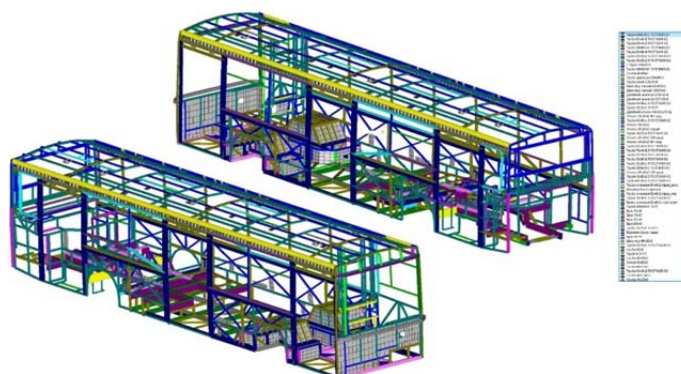
В качестве исходных данных взята твердотельная модель автобуса, выпоенная по чертежам составляющих рамы: каркас пола, каркас боковин полунизкопольного автобуса, установка подиума, передние и задние каркасы, каркас крыши.



*Рис. 1. Типовая схема каркаса автобуса*

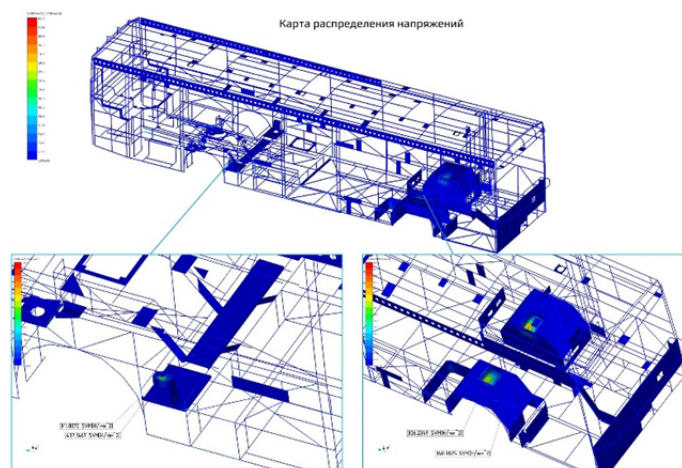
Построение такой модели обладает рядом трудностей, так как конструкция состоит из жестких и пластичных элементов одновременно. Поскольку твердотельная модель, выполненная в трехмерном редакторе, может быть разбита только на объемные конечные элементы, количество которых в данной модели было бы чрезмерно велико, то единственным вариантом проведения расчета такой конструкции будет являться ее моделирование с использованием стержневых и пластинчатых (оболочечных) конечных элементов [1, 2].

Анализ проводится с учетом различных типов нагрузок (постоянные, переменные). Помимо всего прочего, планируется осуществить расчет статической и деформационной прочностей, динамический расчет, усталостный расчет и резонансные колебания.



*Рис. 2. Расчетная модель кузова*





*Рис. 3. Карта распределения напряжений*

В результате выполнения статического расчета были получены карты эквивалентных напряжений (по Мизесу). Из анализа следует, что в конструкции имеется несколько слабых мест – места крепления рессор и амортизаторов передних колес шасси автобуса к его раме. В местах крепления расположены пластины, и характер напряжений в рассматриваемых зонах – изгиб. Наибольшая величина напряжений в элементах крепления передних колес и достигает превышает допускаемые и носит локальный (точечный) характер. Напряжения в остальных стержневых и пластинчатых элементах конструкции автобуса находятся в допустимой зоне.

**Список литературы:**

1. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач // АПМ М. 2007 – 240 с.
2. Захаров М.Н. Применение метода конечных элементов к расчету на прочность статически неопределимых балок. Методические указания. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1993. – 12 с.
3. Cheremiskina M.S. Load-bearing of axle-box assemblies / M.S. Cheremiskina, E.N. Pashkov // Journal of Economics and Social Sciences electronic scientific journal: – 2020. – № 16. – [4 p.]

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Лаубган К.В., НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4НМ21,*

*E-mail: kv110@tpu.ru*

*Буханченко С.Е., к.т.н., доцент ОмШ ТПУ,*

*E-mail: triboss@tpu.ru*

*ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»*

В мире инженерии понимание различных видов трения и фрикционных контактов играет важнейшую роль в разработке эффективных и надежных механизмов. Для оценивания эффективности и надежности, в основном, необходимо проводить практические испытания тех или иных механизмов в условиях, максимально приближенных к реальным [1].

Одним из важных аспектов фрикционного контакта является различного рода трение, которое возникает при контактном взаимодействии в наиболее распространенных роторных узлах технических систем машин и механизмов. В рамках различных схем трения особое внимание заслуживают схемы контактного взаимодействия реализованные в подшипниках качения и скольжения, а также тормозных устройствах технических систем: «вал-втулка», «вал-колодка», «вал-колодки».

Целью данной работы является создание автоматизированного комплекса диагностики узлов трения технических систем (далее АКДУТТС) 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 анализа достоинств и недостатков наиболее функционального испытательного триботехнического оборудования [2] была разработана принципиальная схема мобильного малогабаритного АКДУТТС, представленная на рис. 1. АКДУТТС представляет собой сборно-разборную конструкцию, состоящую из пяти модулей: основание (1), модуль вращения контртела (2), камера испытательная (3), модуль подготовки смазочной среды (4), модуль управления (5). Модуль вращения контртела (2) в свою очередь состоит из двух основных узлов: блок регистрации момента трения (2.1) и подшипниковый узел (2.2). Камера испытаний (3) состоит из камеры трения (3.1) и двух пар оппозитно расположенных блоков нагружения контртела 3.2–3.5.

Принцип работы АКДУТТС основан на реализации как вращательного, так и возвратно-вращательного движения контртела узла трения, динамически нагруженного оппозитно расположенными парами блоков нагружения. В случае моделирования работы подшипника качения контртелом является его внутреннее кольцо, в случае моделирования работы подшипника скольжения – вал или ось, в случае моделирования работы тормозного узла – барабан или колесо. Модуль подготовки смазочной среды (4) позволяет подавать, регулировать состояние и контролировать смазочную среду в зависимости от условий испытаний. Управление и мониторинг АКДУТТС происходит с помощью модуля управления (5).

Среди основных достоинств АКДУТТС можно выделить следующие преимущества:

- модульность конструкции;
- моделирования работы наиболее распространенных роторных узлов трения технических систем машин и механизмов;
- моделирование силового, скоростного и температурного нагружения, максимально приближенного к реальным условиям эксплуатации роторных узлов трения технических систем машин и механизмов;
- возможность определения состояния узлов трения технических систем машин и механизмов по вибрационным параметрам;

Предполагается, что применение АКДУТТС будет целесообразным как в испытательных лабораториях научно-исследовательских центров при разработке новых конструктивных и смазочных материалов, так и на предприятиях различных отраслей про-



мышленности при оценке технического состояния узлов и агрегатов технических систем машин и механизмов.

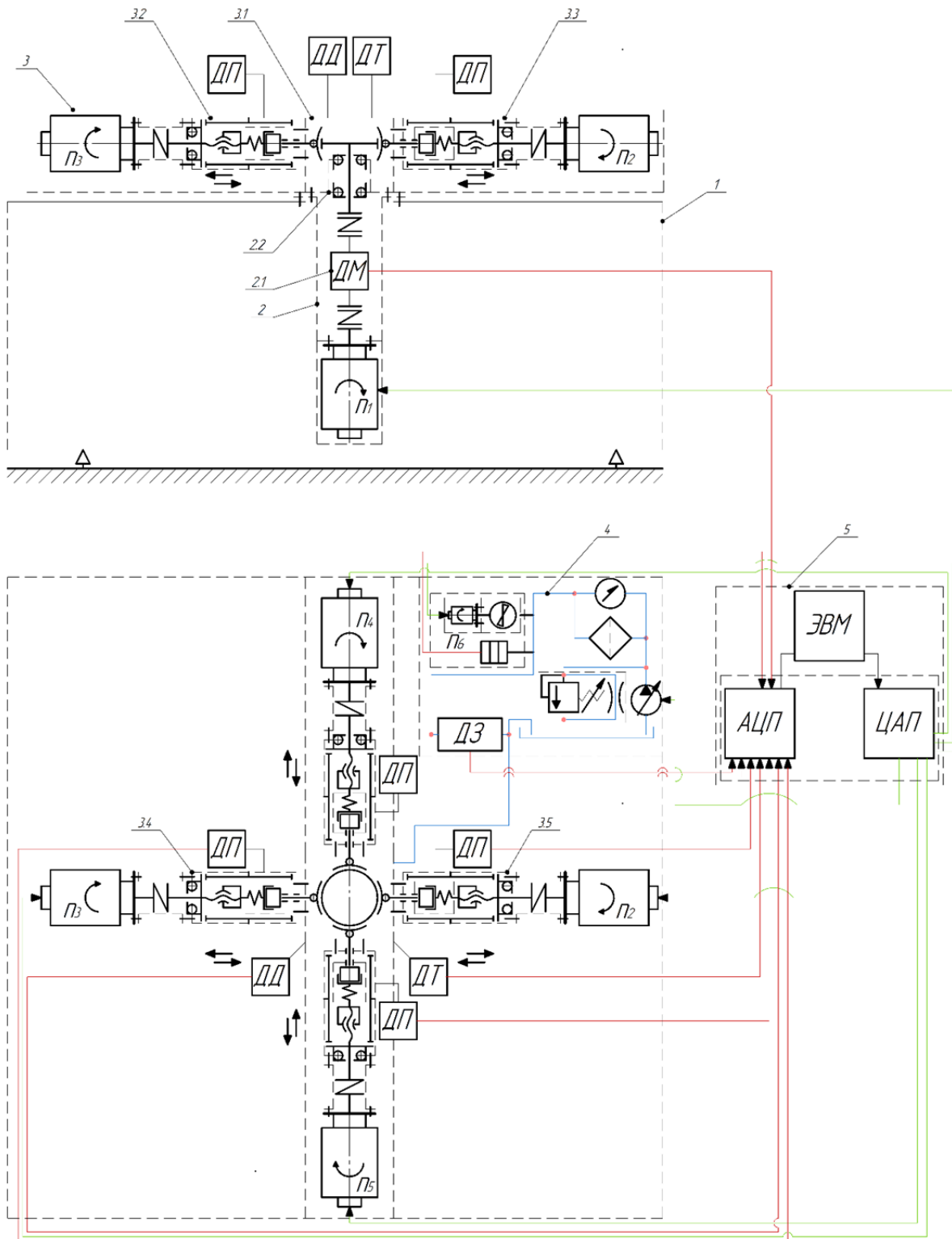


Рис. 3 Принципиальная схема АКДУТС

**Список литературы:**

1. Гаркунов Д.Н. // Триботехника (износ и безызносность). – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с., ил. 280.
2. Буханченко С.Е. Автоматизированный комплекс для трибодиагностики пар трения вращательного действия в условиях, максимально приближенных к реальным // журнал «Контроль. Диагностика»; 2009. № 7.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ НА ОПОРУ КАЧЕНИЯ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО САТЕЛЛИТА ПО МЕТОДУ ПРИВЕДЕННОГО УСИЛИЯ

Чаэров Е.С.  
НИ ТПУ, ИШНПТ, АЗ-20,  
E-mail: esc12@tpu.ru

В последнее время во всем мире наблюдается тенденция проектирования механических передач с максимальной надежностью, позволяющих передавать высокие крутящие моменты, но при этом являющихся компактными и эффективными. В настоящий момент существует множество различных передач, такие как: передачи зацеплением; передачи трением; цепные передачи и т. д. [1]. Наиболее интересными являются передачи зацеплением, которые в свою очередь подразделяются по типам зацепления на эвольвентные и циклоидальные. Эти виды зацепления существуют уже более 100 лет (а эвольвентное более 200), но в прошедшее столетие больше внимания стало уделяться механическим передачам с циклоидальным зацеплением [2, 3]. На основе циклоидального зацепления разработаны передачи с промежуточными телами качения (ПТК) и, в частности, передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО).

Передача с ПТКСО является наиболее перспективной среди передач с ПТК для применения в современных механизмах [2-6]. Наиболее нагруженной частью этой передачи, да и всех планетарных передач с ПТК является подшипник, расположенный на генераторе, под сателлитом.

Рассмотрим конструкцию передачи с ПТКСО [6]. Она состоит из (рис. 1): генератора (1), кулачка (2), тел качения (3), венца (4), сепаратора (5) и подшипника (6). Передача работает следующим образом: от эксцентрикового генератора (1) через подшипник (6) вращение передается на кулачок (2), который в свою очередь вовлекает во вращение тела качения (3) вместе с сепаратором (5), в пазах которого они находятся, при этом тела качения обкатываются по циклоидальным профилям венца и кулачка (6). Выходным звеном может быть, как кулачок, так и венец.

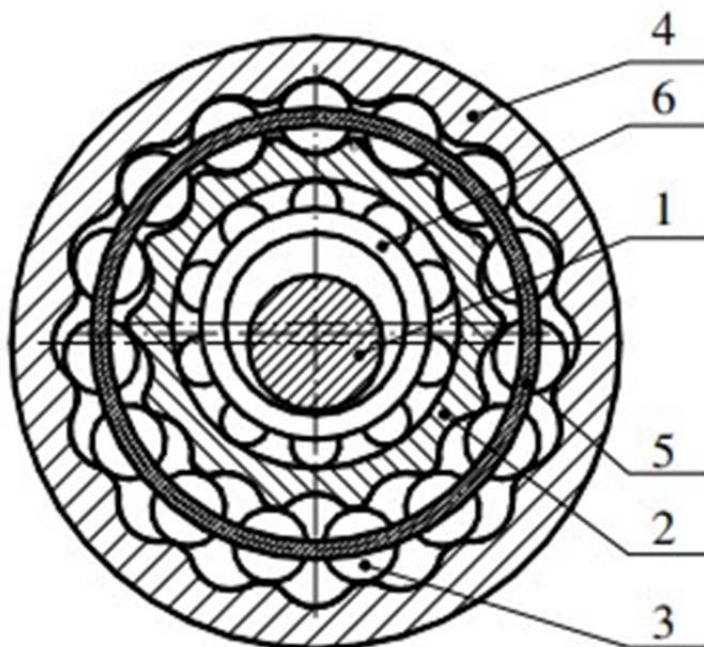


Рис. 1. Схема передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

В зацеплении передачи с ПТКСО на тело качения, усилия действуют с двух сторон (рис. 2): в точках контакта профиля кулачка с телом качения и профиля венца с телом качения. Более важным для грузоподъемности передачи является усилие, действующее в точке контакта профиля кулачка с телом качения, так как именно это усилие оказывает воз-

действие на опору качения, расположенную на генераторе. Распишем метод определения приведенного усилия на опору качения циклоидального сателлита.

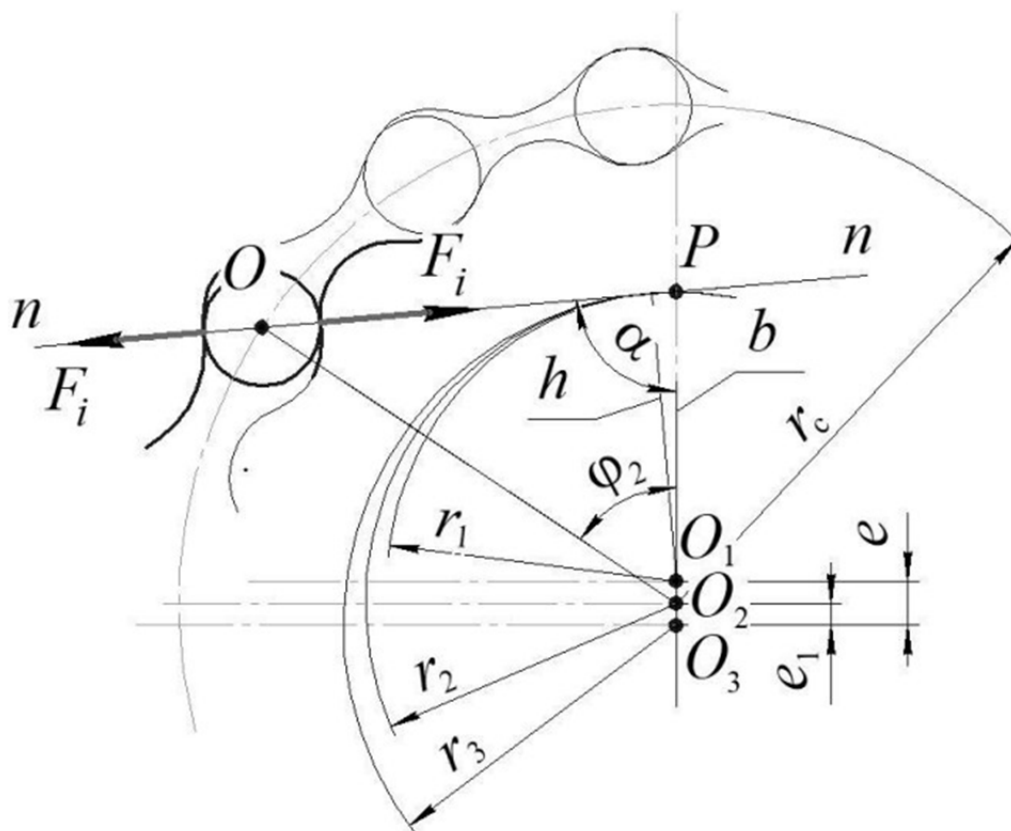


Рис. 2. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении передач с ПТКСО

Расчет усилий в зацеплении начнем с определения максимального усилия в зацеплении передачи с ПТКСО [6]:

$$F_{\max} = \frac{T_k \cdot b}{\sum h_i^2} \quad (1)$$

где  $T_k$  – крутящий момент на кулачке;  $b$  – расстояние от центра кулачка до полюса зацепления;  $h_i$  – плечо, расстояние от линии действия  $i$ -го усилия до центра кулачка.

Расстояния  $h_i$  рассчитываются для каждого тела качения по следующей формуле:

$$h_i = b \cdot \sin \alpha_i \quad (2)$$

Значения  $\sin \alpha_i$  для каждого тела качения, участвующего в зацеплении найдем по формуле:

$$\sin \alpha_i = \frac{\sin \varphi_{2i} \cdot r_c}{L_i} \quad (3)$$

здесь  $L$  – расстояние от полюса  $P$  до центра тела качения  $O$ . В зависимости от исходных параметров определяется как:

$$L_i = \sqrt{r_2^2 + r_c^2 - 2r_2 r_c \cos \varphi_2} \quad (4)$$

Зная значение максимального усилия в зацеплении, определим усилие на каждом теле качения, передающем крутящий момент, согласно уравнению:

$$F_i = \frac{F_{\max} \cdot h_i}{b} \quad (5)$$

После определения усилий  $F_i$  на каждом теле качения в зацеплении, приложим их параллельным переносом к точке  $O_1$  (рис. 3). В точке  $O_1$  проведем произвольную прямую  $p - p$ , на которую спроецируем усилия  $F_i$  и получим проекции этих усилий  $F_{Hi}$  (рис. 3).

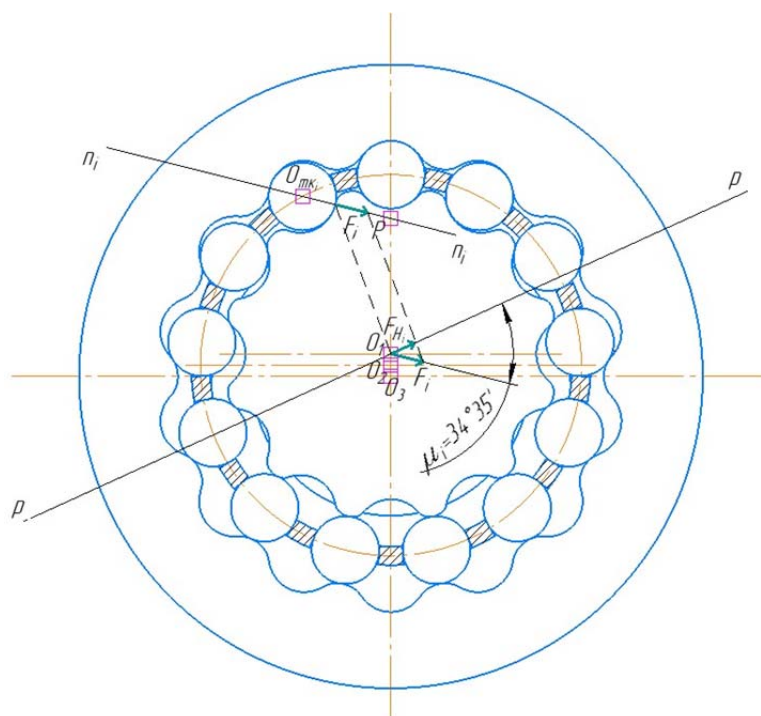


Рис. 3. К определению проекции усилия на произвольную прямую

Проекции усилий  $F_{H_i}$  определяются из следующего выражения:

$$F_{H_i} = F_i \cdot \cos \mu_i. \quad (6)$$

После того как все усилия, спроецированные на произвольную прямую  $p-p$ , определены, можно определить приведенное усилие  $R_H$ , действующее на опоре кулачка, через сложение проекций  $F_{H_i}$ :

$$R_H = \sum F_{H_i}. \quad (7)$$

Полученную приведенную силу можно использовать для определения долговечности подшипника под сателлитом.

Таким образом, представлен метод приведенного усилия, который предназначен для определения усилия, действующего на опору качения циклоидального сателлита, и долговечности этой опоры, что влияет на несущую способность передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой и всего механизма в целом.

### Список литературы

1. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 12-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 408 с.
2. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида / Е.А. Ефременков // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308, № 1. – С. 131–135.
3. Lustenkov M.E. Planetary ball transmissions: strength calculations // Russian Engineering Research. – 2010. – V. 30. – № 9. – P. 862–866.
4. Hsieh C.F. Dynamics analysis of cycloidal speed reducers with pinwheel and nonpinwheel designs // Journal of Mechanical Design. – 2014. – V. 136. – № 9. – 11 p.
5. Ефременков Е.А. Проектирование тяжело нагруженной циклоидальной передачи со свободной обоймой из условия контактной прочности / Е.А. Ефременков, С.К. Ефременкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 11. – С. 182–188.
6. 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.

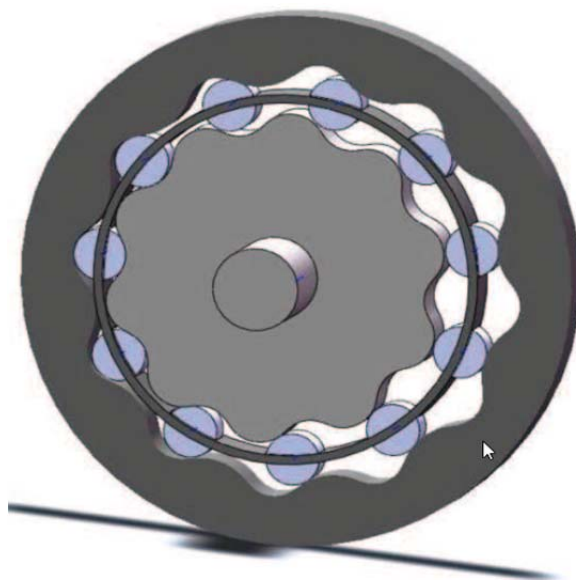
## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ

*Русин А.А., аспирант гр. А2-20,  
Нелюбин К.С., студент, гр. 4АМ2К,  
Ефременков Е.А., к.т.н., доцент ОмШ  
E-mail: aar54@tpu.ru*

В последнее время в России и за рубежом активно исследуются и развиваются механизмы преобразования движения, в которых используется не эвольвентное зацепление, а циклоидальное зацепление, реализуемое с помощью промежуточных тел качения (ПТК): шариков или роликов [1, 2, 3].

Среди достоинств этих передач можно отметить: компактность при высокой перегрузочной способности, высокий КПД, большой диапазон передаточных чисел, высокая жесткость зацепления и т. д. [4]. Наиболее перспективной передачей с ПТК по комплексу технических характеристик является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО). Определение усилий в зацеплении передач является одной из важнейших задач, решение которой определяет массогабаритные параметры всего механизма.

Обзор и анализ зацепления однополюсной передачи с ПТКСО (рис. 1) был рассмотрен в работах [3, 4, 5]. Здесь отмечалось, что в передаче с ПТКСО с одним полюсом зацепления силы в контакте тела качения с профилями кулачка и венца действуют по одной нормали.



*Рис. 1. Передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой*

Однако, в двухполюсной передаче нормали к профилям кулачка и венца в точках контакта с телом качения проходят под углом друг к другу, а следовательно усилия в этих точках не параллельны. Кроме того, варьируя исходные параметры можно изменить относительное положение полюсов зацепления, что может влиять на нагрузочную способность передачи и всего механизма. Таким образом, анализ особенностей распределения усилий в двухполюсных передачах с ПТКСО является актуальной.

Для того, чтобы определить усилия в зацеплении двухполюсной передачи с ПТКСО, рассмотрим две расчетные схемы с разным расположением полюсов. Расчет усилий в зацеплении передачи с ПТКСО выполним аналогично расчету усилий в цевочном зацеплении [6].

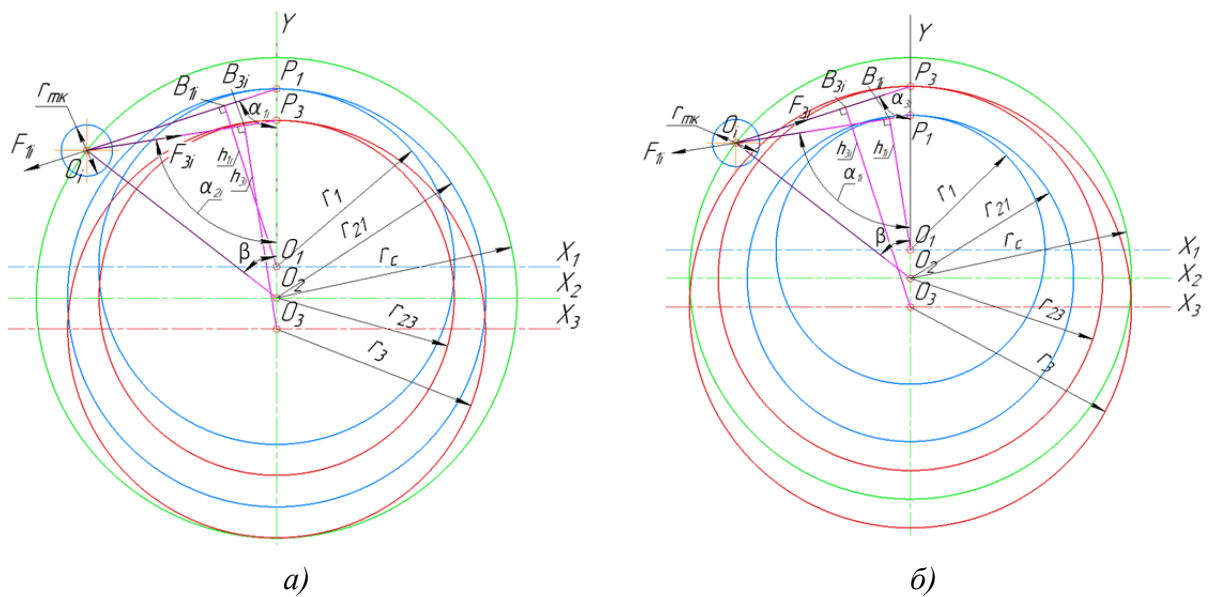


Рис. 2. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении двухполюсной передачи с ПТК и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

На рис. 2 обозначено:  $P_1, P_3$  – полюс зацепления обоймы с кулачком и венцом соответственно;  $O_1, O_2, O_3$  – центры кулачка, обоймы с телами качения и венца соответственно;  $r_1, r_3, r_c, r_{тк}$  – радиусы кулачка, венца, обоймы с телами качения соответственно;  $r_{21}, r_{23}$  – радиусы производящей окружности обоймы в зацеплении с кулачком и венцом соответственно;  $\beta$  – угол поворота обоймы с телами качения;  $F_i$  – усилие в зацеплении  $i$ -го тела качения с кулачком и венцом;  $h$  – кратчайшее расстояние от центра венца/кулачка до линий действий  $i$ -го усилия в зацеплении.

В табл. 1 представлены формулы для определения усилий в зацеплениях тела качения с кулачком и венцом для двухполюсной передачи с ПТКСО. По описанным ниже выражениям определяются усилия в зацеплении тела качения-кулачок и тела качения-венец, разница будет лишь в определении плеча  $h_i$  до линии действия соответствующей силы (нормали). Для каждого зацепления  $h_i$  берется от центра соответствующего колеса.

Таблица 1

Формулы для определения усилий в зацеплении передачи с ПТКСО

Кулачок	Венец
<i>Момент на кулачке/венце через усилия в зацеплении:</i>	
$T_{кул} = \sum F_{1i} \cdot h_{1i}$ $h_{1i} = r_1 \cdot \sin \alpha_{1i}$	$T_{вен} = \sum F_{3i} \cdot h_{3i}$ $h_{3i} = r_3 \cdot \sin \alpha_{3i}$
<i>Угол <math>\alpha_i</math> поворота профильной нормали относительно вертикальной оси передачи:</i>	
$\sin \alpha_{1i} = \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{1i}}$ $\alpha_{1i} = \arcsin \left( \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{1i}} \right)$ $P_1 O = L_{1i} = r_{21} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \beta}$	$\sin \alpha_{3i} = \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{3i}}$ $\alpha_{3i} = \arcsin \left( \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{3i}} \right)$ $P_3 O = L_{3i} = r_{23} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \beta}$
<i>Усилие на <math>i</math>-м теле качения и максимальное усилие:</i>	
$F_{1i} = \frac{F_{1max} \cdot h_{1i}}{b_1}$ $F_{1max} = \frac{T_{кул} \cdot b_1}{\sum h_{1i}^2}$	$F_{3i} = \frac{F_{3max} \cdot h_{3i}}{b_3}$ $F_{3max} = \frac{T_{кул} \cdot b_3}{\sum h_{3i}^2}$



Как говорилось ранее в двухполюсной передаче контактные силы направлены под углом друг к другу. Кроме этого, как можно заметить на рисунке 3 в зависимости от положения полюсов меняется направление результирующей силы. В случае, когда полюс зацепления тел качения с кулачком находится выше полюса зацепления тел качения с венцом, результирующая сила зацепления направлена вниз. В ином случае результирующая сила направлена в противоположную сторону. В зависимости от сочетания исходных параметров передачи с ПТКСО результирующая сила может как совпадать с направлением движения тела качения и сепаратора, так и быть направлена в противоположную сторону, что может способствовать торможению тел качения.

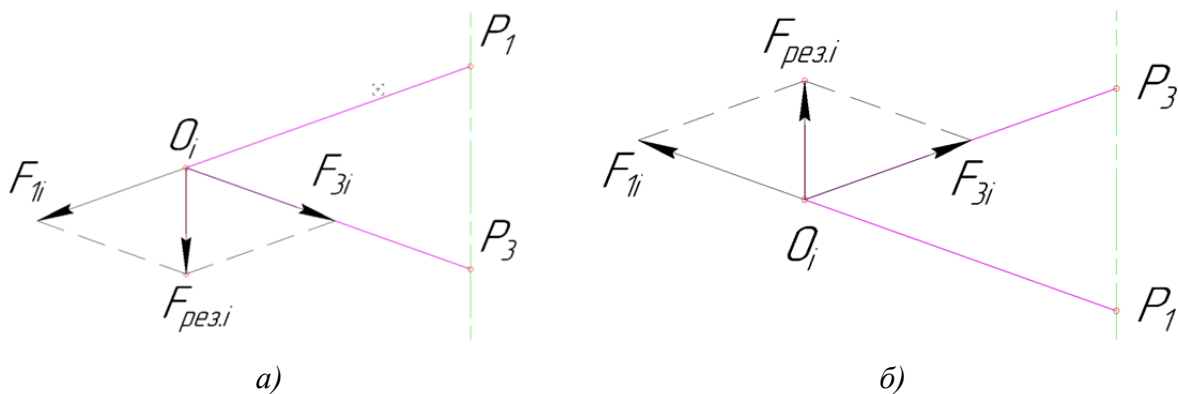


Рис. 3. Результирующая сила в двухполюсной передаче с ПТКСО и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

Таким образом, показано различие распределения усилий в зацеплении однополюсной передачи с ПТКСО и двухполюсной, заключающееся в том, что в двухполюсной передаче силы в контакте тел качения с профилями кулачка и венца направлены под тупым углом друг к другу, в отличие от зацепления однополюсной передачи. Так же показано, что относительное расположение полюсов зацепления тела качения с кулачком и венцом может быть различным, что приводит к разному направлению результирующей силы зацепления, которая действует на сепаратор.

### Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. Томск: ТПУ, 1992. – 231 с.
2. Лустенков М.Е. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 274 с.
3. 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.
4. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
5. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308 – № 1. – С. 131–135.
6. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. М.: М/с, 1966. С. 308

## РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИЙ ЭНЕРГИИ

Авад П.А.<sup>1</sup>, Сидорова А.А.<sup>2</sup>, Мамонова Т.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, ИШИТР, зр. 8Е02,

E-mail: paa13@tpu.ru

<sup>2</sup>ТПУ, ИШИТР, ст. преподаватель,

E-mail: sidorova@tpu.ru

<sup>3</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доц.,

E-mail: stepte@tpu.ru

### Введение

Платформа для генерации электронных шагов людей представляет собой инновационное решение для автоматизации процессов и повышения эффективности бизнеса. Она позволяет людям быстро и легко генерировать электронные шаги для процессов, таких как процессы приема заказов, процессы продаж, процессы планирования и многое другое. Платформа предоставляет пользователям инструменты для быстрого и легкого создания электронных шагов, а также инструменты для отслеживания и анализа процессов. Это позволяет пользователям быстро и легко идти вперед и достигать большего успеха. Египетские государственные офисные здания страдают от множества проблем внутренней среды и имеют плохую теплоизоляцию. Они потребляют около 5977 кВтч в год (в 2010/2011 году), что составляет 4,6 % от общего потребления электроэнергии в Египте [1].

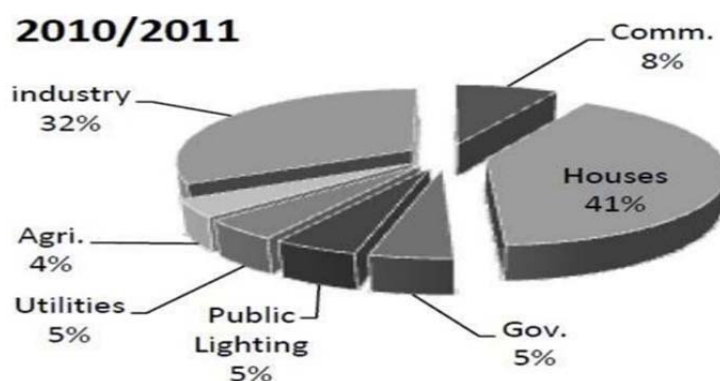


Рис. 1. Процент потребления энергии для различных секторов в Египте

### Международные примеры

Сколько людей нужно для запуска космического шаттла? Ответ: 84 162 203 человек, каждый из которых делает всего один шаг в системе «Crowd Farming», разработанной студентами МИТ Джеймсом Грэмом и Таддеусом Джушчиком. Вместе они предложили создать электростанцию, питаемую энергией людей (по аналогии с тренажерами, работающими на человеческой энергии, и устойчивыми ночными клубами), в которой люди генерировали бы энергию простыми движениями и ходьбой (рис. 2).

84 162 203 человека, делающих всего один шаг = 5 ГВт.



Рис. 2. Иллюстрация, представляющая количество энергии, генерируемой человечеством по всему миру согласно официальному сайту компании Sustainable Dance Floor [2]



### Предлагаемое решение

Предлагаемая платформа представляет собой инновационный источник возобновляемой энергии, который основан на использовании пьезоэлектрических элементов для преобразования энергии, получаемой от шагов людей. Эти элементы способны генерировать электричество при механическом давлении, что позволяет превратить места с высокой активностью людей в источники энергии.

SolidWorks обладает интуитивным интерфейсом и мощными функциями визуализации, которые помогают наглядно представить проект с высокой степенью детализации. Такие визуализации помогут продемонстрировать работу проекта и его преимущества потенциальным инвесторам, партнерам или клиентам. На рис. 3 приведен перечень компонентов платформы в ее собранном виде, и более подробней в [3].

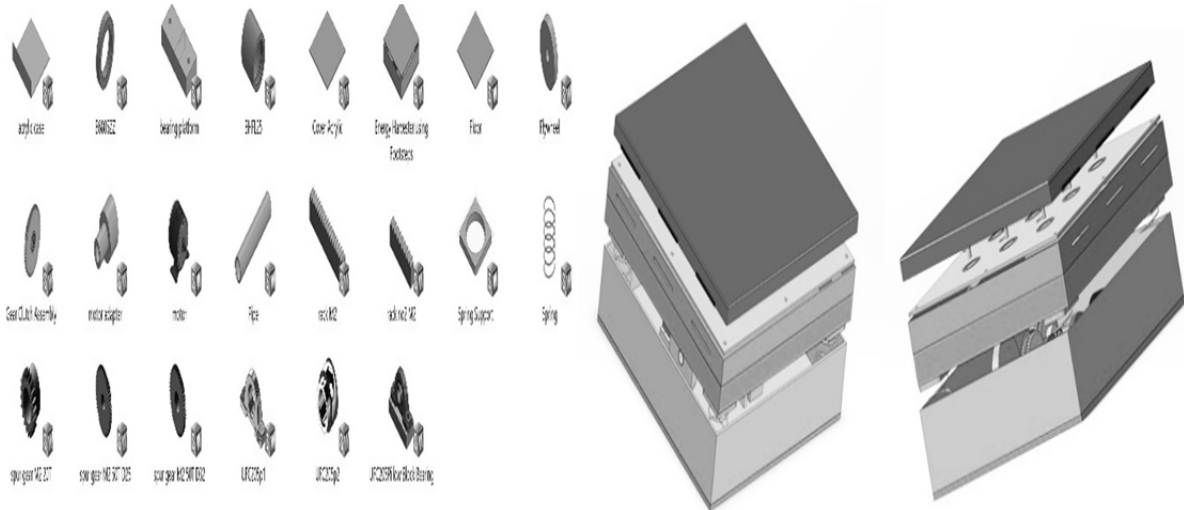


Рис. 3. Перечень компонентов платформа и 3D-модель платформы

Количество энергии, которое можно сгенерировать и сохранить таким образом, зависит от многих факторов, включая свойства и количество использованных пьезоэлементов, характеристики преобразователя, емкость аккумулятора и т.д. Эти аспекты можно оптимизировать для максимизации эффективности системы и Алгоритм платформа в рис. 5.

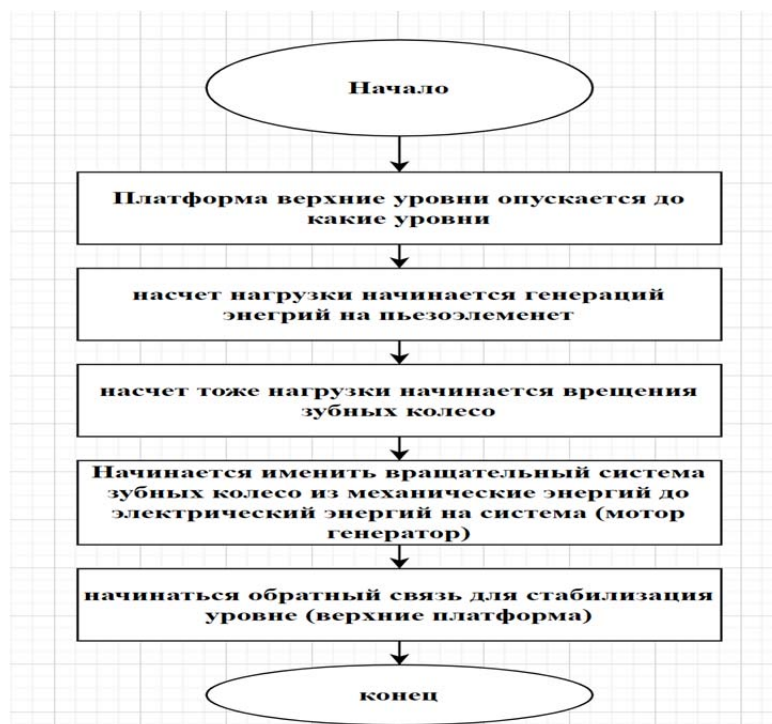


Рис. 5. Алгоритм платформа

### Улучшить сборку 3D-модели:

Основная идея заключается в использовании пьезоэлектрических материалов в напольных покрытиях для генерации энергии из шагов людей. Эти напольные покрытия содержат в себе пьезоэлектрический материал, способный преобразовывать механическое напряжение, возникающее под действием шагов, в электрическую энергию.

Когда человек идет по такому напольному покрытию, давление, создаваемое его шагами, генерирует электрический заряд в пьезоэлектрическом материале. Этот заряд может быть использован для питания малых электронных устройств и датчиков или сохранен в аккумуляторе для последующего использования.

Преимущество таких напольных покрытий заключается в том, что их легко интегрировать в существующую инфраструктуру без крупных изменений. Это делает их экономически эффективными и масштабируемыми решениями для сбора энергии. Их использование на местах с высокой проходимостью, таких как железнодорожные станции, аэропорты и торговые центры, имеет потенциал для генерации значительного объема электроэнергии и снижения зависимости от традиционных источников энергии. Улучшить сборку 3D-модели на рис 6.



Рис. 6. 3D-модель платформы

Система «one-way clutch» играет важную роль в множестве механических приложений, обеспечивая контроль над направлением движения и позволяя эффективно управлять механизмами, где важно ограничить движение только в одном направлении на рис. 7.

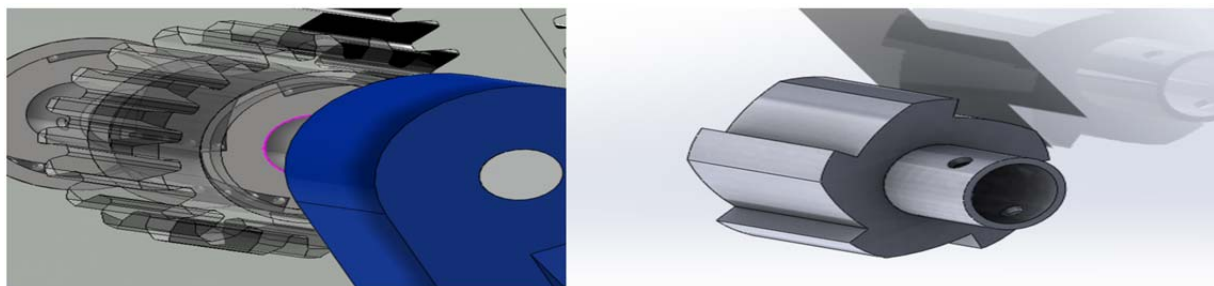


Рис. 7. Система «one-way clutch»

### Мультипликатор система

В механике, мультипликатор (или передаточное число) относится к соотношению скоростей или усилению вращающегося механизма, такого как система шестеренок или зубчатых колес. Мультипликатор позволяет увеличить или уменьшить скорость вращения на выходе по сравнению с входом рис. 8.

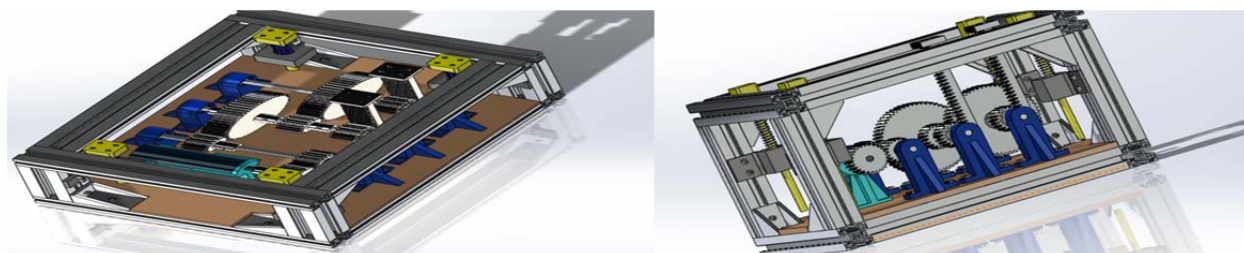


Рис. 8. Мультипликатор система

### Функциональность Пьезоэлемент Модель (Piezoemnet Model 3D):

При приложении силы при шаге человека верхний резиновый слой, как показано на Рис. 9, начинает опускаться, заставляя полусферические выступы давить на пьезоэлектрические диски. Поскольку толщина держателя пьезоэлектрических дисков составляет 3 мм, максимальное отклонение, вызванное пьезоэлектрическим диском, также будет составлять 3 мм. Когда нога поднимается, пьезоэлектрические диски возвращаются в свое исходное положение. Это вертикальное движение и вибрации, сопровождающие это движение, создают импульсы переменного напряжения.

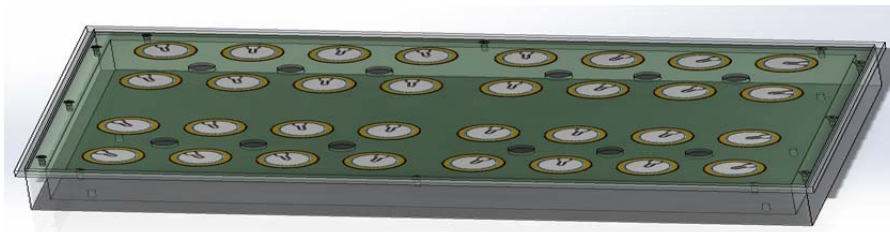


Рис. 9. Пьезоэлемент Модель

Для расчета выходной энергии  $E_{output - single}$  пьезоэлемента с заданными параметрами, мы можем использовать формулу [5]:

$$E_{output - single} = \frac{(d * F * A)^2}{2 * C} * t$$

где:  $d$  – постоянная пьезоэлектрической поляризации ( $593 * 10^{-9}$  C/N) [4];  $F$  – сила, которая действует на пьезоэлемент ( $g$  – Ускорение свободного падения, примерно  $9.8$  м/с<sup>2</sup>),  $mass = 70$  кг – масса для один человек 70 Кг;  $A$  – площадь пьезоэлемента ( $A = \pi(\frac{D}{2})^2$ , где  $D = 35$  мм);  $C$  – емкость пьезоэлемента ( $37 * 10^{-9}$  Ф) [6];  $t$  – продолжительность воздействия (1 сек);

$$F = mass * g = 70 \text{ кг} * 9.8 \text{ м/с}^2 = 686 \text{ Н}$$

Теперь мы можем вычислить

$$\begin{aligned} &= \frac{\left( 593 * 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{N}} * 686 \text{ Н} * 0.096 \text{ м}^2 \right)^2}{2 * 37 * 10^{-9}} * 1 \text{ сек} \\ &= 0.021 \text{ Дж} \end{aligned}$$

### Заключение

Внедрение пьезоэлектрических полов для генерации энергии при ходьбе представляет собой перспективное решение для борьбы с энергетическими вызовами. Это позволяет создавать электроэнергию на местах с высокой активностью людей, минимизируя изменения в инфраструктуре. Исследования по использованию пьезоэлементов на печатных платах открывают новые возможности в энергетике, объединяя электронику и механику для эффективного преобразования механической энергии. Эти технологии применимы в разных сферах, Платформы для генерации энергии через пьезоэлементы на печатных платах представляют современный способ решения энергетических проблем и способствуют более устойчивому будущему.

### Список литературы

1. Сайт Министерства электроэнергии и энергетики Египта, Годовы (The Egyptian ministry of electricity and energy website, Annual reports) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.moe.gov.eg> (дата обращения: 22.09.2023).
2. Международные примеры [Электронный ресурс] – URL: [Online]. Available: <http://www.sustainabledanceclub.com> (дата обращения: 22.09.2023).
3. Авад П.А., Мамонова Т.Е., ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. Сборник Докладов (III Международная научно- практическая конференция Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов. – 2023.– Р. 249–251. / Томск [Элек-

тронный ресурс] – URL: Электронный научный архив ТПУ: Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Томск, 25–27 апреля 2023 г. (tpu.ru).

4. CdTe and Related Compounds; Physics, Defects, Hetero- and Nano-structures, Crystal Growth, Surfaces and Applications Part II: Physics, CdTe-based Nanostructures, CdTe-based Semi magnetic Semiconductors, Defects A volume in European Materials Research Society Series Book – 2010. – P. 22–30. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.science-direct.com/book/9780080464091/cdte-and-related-compounds-physics-defects-hetero-and-nano-structures-crystal-growth-surfaces-and-applications> (дата обращения: 22.09.2023).

5. Book «Piezoelectric Energy Harvesting» by Erturk and Inman, Publisher: John Wiley & Sons – Chapter (3) derives this formula from electromechanical relationships. – 2011. – P. 50–95. [Электронный ресурс] – Link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781119966268.ch3> (дата обращения: 12.10.2023).

6. «Piezoelectric Energy Harvesting Devices: An Experimental Comparison» Authors: N.G. Elvin, A.A. Elvin, D.H. al., Published – 2011. Journal: Materials Research Society Online Proceedings Library (mrs.org)DOI [Электронный ресурс] – Link: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3266257/> (дата обращения: 05.11.2023).



## ЭФФЕКТ ДЖАНИБЕКОВА – ВЫНУЖДЕННАЯ ПРЕЦЕССИЯ СВОБОДНОГО ГИРОСКОПА

Томилин А.К.<sup>1</sup>, Алеев Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор,

E-mail: aktomilin@tpu.ru

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, 4А21, студент,

E-mail: dsa28@tpu.ru

В 1985 году во время полёта на космической станции космонавт Владимир Джанибеков при распаковке груза, с некоторым усилием стукнул по «ушку» гайки-барашка и та, после схода с винтовой резьбы, устремилась по горизонтальной прямой, но при этом, пролетев, примерно, 20 сантиметров, развернулась на 180° ушками назад и продолжала так переворачиваться через равные промежутки времени (рис. 1). Поскольку научного объяснения этого непонятного феномена не было, информация о нем в СССР была засекречена. В 90-х годах, когда об эффекте Джанибекова (ЭД) стало широко известно, некоторые конспирологи стали предсказывать возможный «кувырок» Земли. Адекватной теории, объясняющей ЭД, до сих пор нет.

Цель настоящего исследования – анализ описанных выше экспериментов и попытка объяснения ЭД на основе теории Н.Е. Жуковского о вынужденной прецессии гироскопа, а также определение условий его проявления.

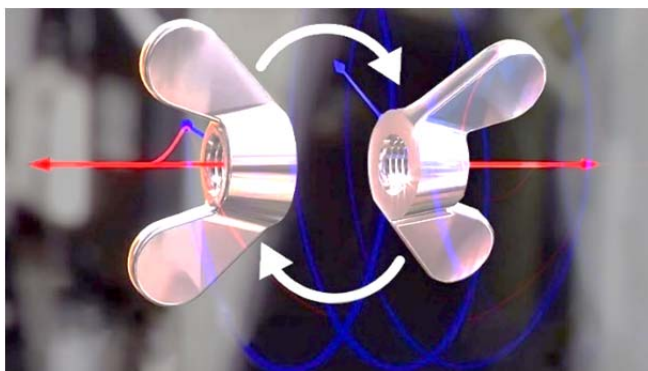


Рис. 1. Демонстрация эффекта Джанибекова

В Интернете размещено несколько видеороликов, заснятых в космосе, с демонстрацией ЭД. Отметим, что эффект наблюдается только на космической станции. В условиях невесомости, созданной в самолете при свободном падении, эффект не возникает. Следовательно, невесомость – необходимое, но не основное условие для возникновения ЭД.



Рис. 2. Вращение теннисной ракетки

Наиболее распространенным является объяснение ЭД на основе теоремы Пуансо о промежуточной оси инерции [1]. Ее часто называют «теоремой теннисной ракетки», поскольку ракетка, подброшенная вверх и закрученная вокруг оси  $x$ , обязательно переворачивается еще и вокруг оси  $y$  (рис. 2). Теорема содержит утверждение о неустойчивости

вращения твёрдого тела относительно главной оси  $Ox$  с промежуточным значением момента инерции:  $J_y > J_x > J_z$ . Вращение объекта относительно главных осей с наибольшим и наименьшим моментами инерции является устойчивым.

Проанализируем доступные видеоролики с экспериментами, произведенными на космической станции. В ролике (<https://www.youtube.com/watch?v=LzVItPwiQyI>) заснятом членами экипажа МКС-30 Антоном Шкаплеровым и Дэниелом Бёрбанком демонстрируются эксперименты с телами различной формы. Вначале космонавты экспериментируют с кубической коробкой и консервной банкой – эффект в этих случаях не наблюдается при закручивании вокруг любой оси. Заметим, что этим телам сообщаются очень малые угловые скорости собственного вращения и время наблюдения ограничивается несколькими оборотами. Можно предположить, что эти две причины, не позволяют эффекту проявиться. Затем демонстрируются эксперименты с коробкой в виде параллелепипеда и с книгой. Эффект наблюдается при вращении тел вокруг оси со средним моментом инерции.

В другом видеоролике (<https://youtu.be/I6PVM4En-6o>) Джанибеков демонстрирует эксперимент с пластилиновым шариком, у которого все три осевых момента инерции практически одинаковые. При этом вращающийся шарик периодически переворачивается, что противоречит теореме о промежуточной оси инерции. Следует также отметить, что эта теорема не объясняет периодическое изменение (колебания) оси вращения, наблюдаемое в ЭД.

Поскольку вращающийся объект находится на космической станции и вместе с ней движется по круговой орбите, то возникает случай вынужденной прецессии. Имеется две угловых скорости: собственного вращения тела  $\omega_1$  и вынужденной прецессии  $\omega_2$  за счёт движения по круговой орбите. С космической станцией свяжем подвижную координатную систему в виде естественного трёхгранника  $O\xi\eta\zeta$ . Пусть вектор  $\omega_1$  лежит в плоскости  $O\xi\eta$ , а  $\omega_2$  расположен на оси  $O\eta$ . Векторы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  образуют произвольный угол  $\varphi$ , который откладывается от оси  $O\eta$ , сохраняющей свою ориентацию в пространстве (рис. 3). При этом, в соответствии с правилом Н.Е. Жуковского [2] ось собственного вращения стремится совместиться с осью прецессии за счёт гироскопического момента:

$$\mathbf{M}_{\text{гир}} = J_1 (\boldsymbol{\omega}_1 \cdot \boldsymbol{\omega}_2), \quad (1)$$

где  $J_1$  – момент инерции тела относительно оси собственного вращения.

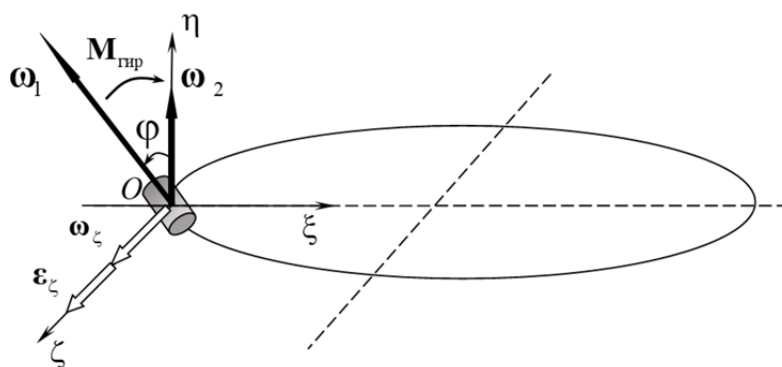


Рис. 3. Вынужденная прецессия гироскопа на космической орбите

При этом вращение гироскопа вокруг оси  $O\zeta$  определяется дифференциальным уравнением:

$$J_\zeta \dot{\omega}_\zeta = -J_1 \omega_1 \omega_2 \sin \varphi. \quad (2)$$

Представим (2) в виде:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{J_1}{J_\zeta} \omega_1 \omega_2 \sin \varphi = 0. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение (3) описывает нелинейные колебания маятниковой системы [3]. Колебания соответствующего линеаризованного маятника происходят с периодом

$$T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_1 \omega_2 J_1 / J_\zeta}}.$$

Период колебаний нелинейной системы, как показано в [4], определяется по формуле:

$$T = T_0 \frac{2 \sin(\varphi_0^2/4)}{\pi} = \frac{4}{\sqrt{\omega_1 \omega_2 J_1 / J_\zeta}} \sin(\varphi_0^2/4). \quad (4)$$

Пусть, например, колебания происходят с амплитудой  $\varphi_0 = \pi/2$ , а соотношение моментов инерции гайки  $J_1/J_\zeta = 2$ . Собственную угловую скорость вращающейся гайки можно оценить значением

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 30 = 188,5 \text{ c}^{-1}.$$

Космическая станция совершает полный оборот по своей по своей орбите за 90 минут, поэтому угловая скорость ее движения по орбите

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{90 \cdot 60} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}.$$

При этих значениях из (4) получаем период колебаний оси гайки  $T \approx 3,5 \text{ c}$ , что хорошо согласуется экспериментами, представленными на видеороликах. Дополнительно заметим, что поступательное движение гайки и расстояние, пройденное ей при этом, значения не имеют.

Колебания оси гироскопа в эффекте ЭД можно объяснить и из энергетических соображений. Под действием гироскопического момента тело приобретает угловую скорость  $\omega_\zeta$  и соответствующую кинетическую энергию. В момент совпадения осей собственного вращения и прецессии кинетическая энергия имеет максимальное значение, поэтому тело продолжает вращение вокруг оси  $O\zeta$ . Далее происходит преобразование кинетической энергии в потенциальную энергию гироскопического момента. Затем движение происходит в обратном направлении.

Полученный результат подтверждается экспериментами со свободным волчком, снятыми космонавтами в видеоролике: <https://youtu.be/9LfXZsQyr1o>. На нем представлены два случая ориентации оси собственного вращения волчка. В первом случае переворот волчка не наблюдается, а во втором – он периодически «кувыркается». Это объясняется ориентацией оси собственного вращения волчка по отношению к оси прецессии. В первом случае ось собственного вращения совпадает с осью прецессии (переворота нет), во втором случае векторы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  расположены ортогонально (происходит переворот).

При рассмотрении задачи об эволюции земной оси требуется учесть много факторов, связанных с силовым воздействием космических тел, а также природные явления. ЭД, как один из факторов, очевидно, нужно учитывать в таких задачах. Земля вращается вокруг оси с наибольшим моментом инерции, которая составляет с угловой скоростью вынужденной прецессии угол  $23,5^\circ$ . Оценочный расчет периода колебаний Земли под действием гироскопического момента составляет примерно 9,6 часов. Этого не происходит, поскольку на Землю воздействуют и другие моменты, возникающие при взаимодействии с Солнцем, Луной, а также в результате приливных явлений. Сумма всех моментов, воздействующих на земную ось равна нулю, поэтому она находится в устойчивом положении.

ЭД нужно учитывать в работе гироскопических систем на космических спутниках и станциях [4–5]. Например, для высокоточной стабилизации космических аппаратов используются гиродины – это гироскопы, обеспечивающие правильную ориентацию космических аппаратов в полёте и предотвращающие их беспорядочное вращение. Принцип работы гиродин заключается в создании гироскопического момента, действующего на кос-

мический аппарат через опоры гироскопа. Как следует из представленной выше теории, в гиродине может возникать дополнительный гироскопический момент за счет ЭД. Этого можно избежать, расположив угловую собственную вращения гиродина по оси орбитальной прецессии.

**Список литературы:**

1. Ashbaugh M.S., Chicone C.C., Cushman R.H. The twisting tennis racket // *Journal of Dynamics and Differential Equations*. 1991, Vol.3, p.67–85. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01049489>
2. Сивухин Д. В. *Общий курс физики*. – М.: Наука, 1979. – Т. I. Механика. – 520 с.
3. Гусев А.Ф., Новоселова М.В. *Прикладная теория колебаний: учебное пособие* – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. 160 с.
4. Лысов А.Н., Лысова А.А. *Теория гироскопических стабилизаторов. Учебное пособие*. – Челябинск. Издательский центр ЮУрГУ. – 2009. – 117 с.
5. Авербух В.Я., Вейнберг Д.М., Верещагин В.П. и др. *Электромеханические устройства космических аппаратов и ракет-носителей. Электрооборудование для космических аппаратов и ракет*. –2001. – Т. 100 – С. 89–96.



## ПРОЧНОСТНОЙ И УСТАЛОСТНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА

Дейнинг А.А., студент группы 4А22  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: aad90@tpu.ru

Железнодорожные колеса являются важнейшими элементами конструкции любого железнодорожного транспортного средства – вагонов (грузовых и пассажирских) и тягового подвижного состава (локомотивов и электровозов). Все железнодорожные колеса изготавливают из специальных низколегированных углеродистых сталей. Целое железнодорожное колесо имеет три основных конструктивных элемента: ступицу, диски и обод (рис. 1).

Роль ступицы – обеспечить прочное соединение колеса с осью. Обод колеса непосредственно контактирует с рельсом, а диск соединяет ступицу и обод между собой. Наружная поверхность обода, которая непосредственно контактирует со стальным рельсом, называется поверхностью катания, а выступающая ее часть – гребнем или ребордой.

На основе чертежей строится модель колеса. Геометрическая модель колеса разрабатывалась на основе размеров профиля колеса с плоскоконической формой диска. Колесо является телом вращения, но имеет сложный профиль осевого сечения. По этой причине его геометрическая модель создавалась в САД-программе, а затем импортировалась в форме твердотельной модели в программу конечно-элементного анализа. Колесо опирается по внутренней, цилиндрической поверхности. Всего в рассчитываемой модели 12600 опорных точек. Вводимые при этом ограничения соответствуют шарнирному закреплению. Схема закрепления показана на рис. 2.

Основной вклад в деформирование колеса в процессе эксплуатации, вносит вес вагона. По этой причине рассматриваются вертикальные статические усилия, определяемые допускаемой осевой нагрузкой на колесную пару вагона. Для полноты моделирования нагрузок на колесо были приняты и горизонтальные поперечные для направления движения силы реакции, возникающие в кривом участке пути.

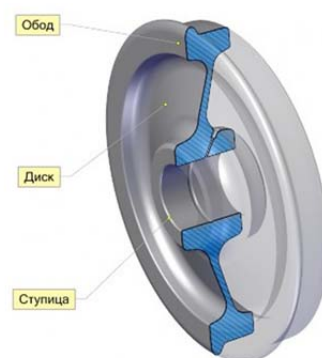


Рис. 1. Конструктивные элементы железнодорожного колеса



Рис. 2. Расчетная модель

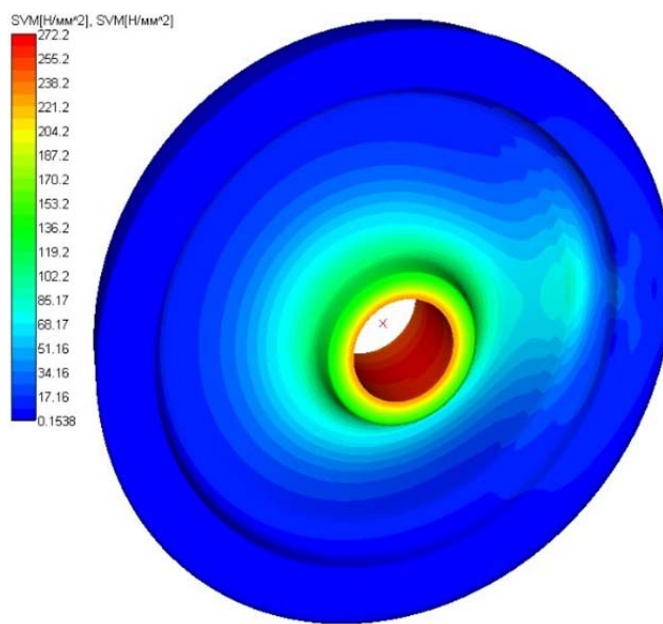


Рис. 3. Напряжение в ступице

Проведенные расчеты на прочность железнодорожного колеса, с дефектом в виде кольцевой канавки на внутреннем торце ступицы, показали, что при заданных нагрузках эквивалентные напряжения, возникающие в элементах колеса, не превышают предела прочности применяемых материалов. Наибольшие напряжения возникают на внутренней поверхности ступицы колеса.

Анализ результатов усталостного расчета показал, что колесо с плоскоконическим диском обладает достаточной прочностью по сопротивлению усталости. Значительная величина запаса по сопротивлению усталости связана с практическим отсутствием циклической нагрузки в данной области колеса. Колеса с плоскоконическим диском, имеющие кольцевой дефект (размерами до 20x5) обладают достаточной статической и усталостной прочностью, а наличие кольцевой канавки не оказывает существенного влияния на распределение напряжений в ступице колеса.

### **Список литературы**

1. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Изд-во Дельта, 2008. – 816 с.
2. Лебедев А.А. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии / А.А. Лебедев, Б.И. Ковальчук [и др.]. – Киев: Изд-во Дом «Ин Юре», 2003. – 540 с.
3. Когаев В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
4. Черемискина М.С. Нагрузки в подшипниках буксовых узлов / М.С. Черемискина; науч. рук. Е.Н. Пашков // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении сборник трудов XI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, 9–11 апреля 2020 г., Юрга: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ); под ред. С. А. Солодского. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – [С. 48–50].

# ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ГЛАЗАМИ ИНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА

*Авхимович Е.Ю.*

*АО «ПО Муроммашизавод»*

*обособленное подразделение в г. Томск, расчетчик I кат.*

*E-mail: y.avkhim23@mail.ru*

## **Введение**

Сразу поясню – сложные математические подходы к решению задач по расчёту надёжности, такие как интегральные теоремы Лапласа, различные законы распределения времени работы до отказа: Вейбулла, Рэлея, усеченный нормальный и равномерный законы, затронуты не будут, разве что вскользь. Акцент поставлен на характер восприятия теории надёжности действующим инженером-конструктором и на его желание повысить надёжность изделия в целом.

## **Взгляд на терминологию**

Существуют ряд ГОСТов 27.... «Надёжность в технике». Первый на который следует обратить внимание ГОСТ Р 27.002 –2015. «Надёжность в технике. Термины и определения». Для того чтобы корректно и грамотно оперировать терминами, понять и прочувствовать их определения.

Надёжность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Сочетание «во времени» означает естественный ход времени, где идет применение, обслуживание, хранение и транспортирование [1]. Ряд слов-элементов ключевого термина «Надёжность», необходимых для понимания смысла, стандартом не регламентированы. Например, «свойство», «способность», «требуемая функция».

Специфический взгляд на данные терминологические элементы представлен в [2], где «Свойство – это философская категория, отражающая такую сторону предмета, которая обуславливает его различия или общность с другими предметами и обнаруживается в отношениях к ним». Термин «Способность» определен, как качество, свойство, состояние дающие возможность производить те или иные действия. Если допустить, что «Требуемая функция» изначально заложена человеком (в нашем случае инженером-конструктором), то под этим термином понимается «внешнее проявление ожидаемых свойств объекта в заданных режимах, условиях применения (при реализации объектом заданного выходного эффекта), которые установлены и соответствуют требованиям (в нашем случае КД (конструкторской документацией))».

Следует отметить, что все эти категории относятся к безотказным изделиям.

## **Алгоритм профессиональной деятельности инженера-конструктора**

Если философский взгляд на надёжность «спроецировать на плоскость инженерно-конструкторских целей и задач», проанализировать результаты, можно выстроить алгоритм профессиональной деятельности действующего инженера-конструктора:

- спроектировать и сконструировать (задумать способность объекта совершать требуемые функции, заложить в нем потенциал, используя не только базовые инженерные дисциплины и физические законы природы, но и статистические гипотезы теории вероятности);
- проанализировать и рассчитать (описать способность количественно, как свойство, учитывая не только «земные» причинно-следственные связи, но и вероятностные случайности событий и процессов, которые могут возникнуть беспричинно, без оглядки на генезис);
- изготовить и использовать объект (реализовать свойства в виде требуемых функций);
- обосновать, исполнять, контролировать конструкторские решения (предупреждение невыполнения какой-либо функции).

Последний пункт алгоритма применяется на всех стадиях разработки, где необходим постоянный мониторинг ситуации. Раннее предупреждение возможных отказов, а не выполнение какой-либо функции является отказом, ведет к повышению надёжности изделия. Сле-

дует обратить внимание, что созданный нами алгоритм опровергает высказывание [2]: «Делать надежность и считать ее – не одно и то же». Надежность изделия и ее расчет в каждом из нас, и в расчётчике, и в конструкторе. В алгоритм заложено общее понимание «слаженности и дружбы» методик, участвующих в этом интересном процессе под названием «Повышение Надежности». Ведь не только применение конструктором более надежных компонентов, оптимизация схем их соединений, резервирование, соблюдение технологий изготовления сборки, хранения, транспортирования и раннее выявление отказов ведут к повышению надежности. Своевременное и грамотное предоставление расчетчиком вероятностных показателей, определение средней наработки до отказа, минимальной интенсивности отказа, которые интегрально (математически) характеризуют свойства изделия, позволяющие выполнять требуемые функции тоже вносит вклад в этот процесс.

### Немного математической теории

Надежность имеет некий собирательный образ, но чаще инженер-конструктор понимает ее, как безотказность, в лице «Вероятности безотказной работы», показатель которой присутствует в требованиях технического задания (ТЗ) на разработку того или иного изделия. С предположением о ее экспоненциальном распределении, вероятность безотказной работы изделия  $P(t_3)$ , состоящего из  $N$  элементов, за время  $t_3$ , ч, вычисляется по формуле

$$P_{\Sigma}(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_N t} = e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – параметр экспоненциального распределения,  $1/\text{ч}$ .

В инженерных расчетах: параметр  $\lambda$  – интенсивность отказа каждого элемента изделия (статистика, испытания);  $t$  – назначенный ресурс изделия.

Примечание, если сделать опять философское отступление, то вероятностная мера назначает каждому событию число из замкнутого интервала  $[0; 1]$ . Значение равно единице, соответствует событию, которое обязательно произойдет, вероятностная мера невозможного события равна нулю [3].

### Модель функционирования изделия

Чтобы выполнить требования ТЗ, инженер-конструктор разрабатывает структуру изделия, собирая по элементам ее модель, подобие «игры в конструктор». Создание модели происходит с учётом данных по вероятности безотказной работы каждого элемента (статистика, испытания), учитывая режимы и условия применения, наработку во времени и «своеобразные отношения между элементами», что ограничивает набор выходных параметров ( $X_i$ ) вероятностных показателей). Расширяет или ограничивает функциональность. Совокупность  $X_i(t)$  характеризует работоспособность (рис. 1).

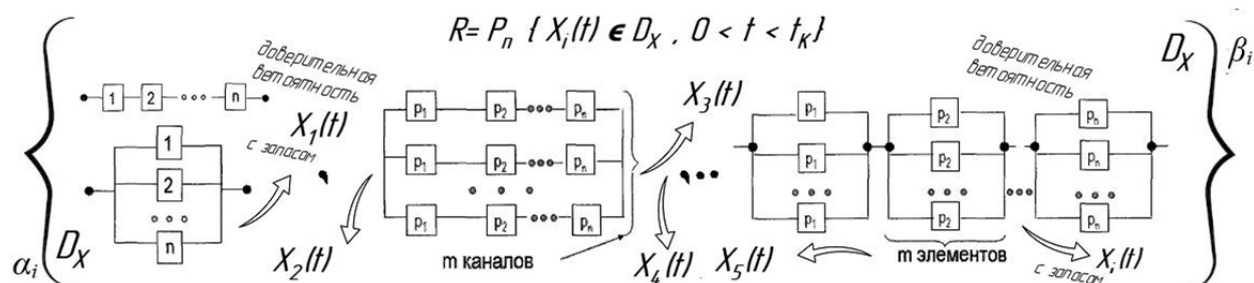


Рис. 1. Параметрическая модель функционирования изделия:

$P_n(t)$  – вероятность безотказной работы  $n$ -ого элемента во времени;

$X_i(t)$  – выходные параметры, определяющие выполнение требуемых функций во времени;

$D_x$  – область допустимых значений изменения выходных параметров  $X_i(t)$ ;

$\alpha_i$  и  $\beta_i$  – границы (нижняя и верхняя) диапазона изменения значений выходных параметров  $X_i(t)$ ;

$R$  – надежность объекта, как вероятность нахождения  $X_i(t)$  в области  $D_x$  за время наработки  $t_K$

## **Заключение**

Подобный взгляд на теорию надежности меняет отношение инженера-конструктора к ней, а отношение формирует действия. Действия грамотные, фундаментом которых является компетентность, нацеленные на результат – повышение надежности создаваемого изделия в целом. А повышение надежности приводит к повышению качества во времени, к повышению конкурентоспособности изделия, а это «амбициозно» (в здоровом смысле это слова), уверено, «красиво» и всегда актуально.

## **Список литературы**

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2016. – 23 с.
2. Похабов Ю.П. Надежность: взгляд конструктора. – Текст: электронный // Надежность. – 2020. – № 4. С. 13–20. – URL: <http://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-13-20>. (дата обращения: 11.11.2023).
3. ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019. Статические методы. Словарь и условные обозначения. – М.: Стандартиформ, 2020. – 65 с.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР РЕШЕНИЙ ПО АППАРАТУ ИЛИЗАРОВА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Ассаад А., студент гр. 4А21, ИШНПТ (Ливан)*

E-mail: aa04@tpu.ru

*Пашков Е.Н., к.т.н., доцент ОмШ ИШНПТ*

E-mail: epashkov@tpu.ru

*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

### **Введение**

Аппарат Илизарова, разработанный доктором Гавриилом Илизаровым в 1950-х годах, является новаторским устройством внешней фиксации в ортопедической хирургии. Его широкое применение для удлинения конечностей и коррекции деформаций скелета создает трудности и одновременно открывает новые возможности. В этом обзоре исследуются критические области, представляющие интерес для инженеров-механиков, на примере аппарата Илизарова.

### **Комплексный взгляд на проблемы и возможности**

Механическая конструкция и оптимизация аппарата Илизарова представляют собой основополагающие аспекты, требующие пристального внимания. Это устройство состоит из колец, спиц, стерженов и шарниров, что требует от инженеров оптимизации его конструктивных параметров. Выбор материала играет здесь решающую роль: нержавеющая сталь и титан являются выбором многих инженеров из-за их биосовместимости и механической прочности. Инженеры все ещё проводят исследования инновационных материалов и покрытий, в ходе которых они обещают улучшить коррозионную стойкость и общую долговечность.

Структурный анализ является еще одним важным аспектом. Анализ методом конечных элементов (МКЭ) и компьютерное моделирование являются бесценными инструментами для понимания распределения напряжений внутри устройства. Инженеры стремятся оптимизировать геометрию рамы и отрегулировать размеры компонентов, чтобы добиться более эффективного распределения нагрузки и тем самым повысить общую устойчивость.

Помимо особенностей конструкций и материалов, механизмы регулировки также имеют решающее значение для комфорта пациента и точности лечения. Инженеры-механики исследуют инновационные способы упрощения и автоматизации процесса регулировки. Роботизированные системы и точные механизмы обеспечивают контролируемое и постепенное удлинение костей, улучшая качество обслуживания пациентов.

Биомеханический анализ является краеугольным камнем исследований аппарата Илизарова. Понимание того, как силы влияют на костную ткань и стабильность каркаса, имеет решающее значение. В ходе исследований в области биомеханики был выявлен сложный процесс передачи нагрузки внутри аппарата, определяющий расположение штифтов и конфигурацию рамы. Анализ механизма с использованием метода МКЭ помогает выявить места повышенного напряжения, что помогает улучшить дизайн.

Возможности настройки под конкретного пациента представляет собой многообещающее направление для инженеров-механиков. Появление аддитивного производства, такого как 3D-печать, позволяет создавать компоненты, ориентированные на пациента, снижая риск смещения и дискомфорта.

Интеграция датчиков и систем мониторинга повышает точность лечения. Инженеры-механики стимулируют разработку сенсорных технологий, которые в режиме реального времени предоставляют данные о нагрузке, растяжении и росте костей. Эти данные позволяют хирургам принимать обоснованные решения.



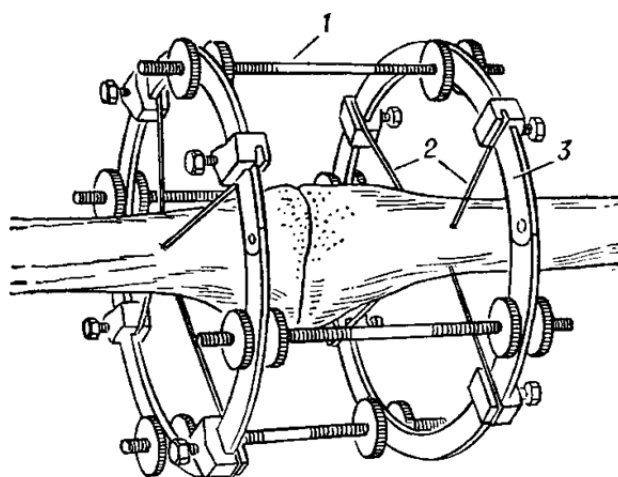


Рис. 1. Схема аппарата Илизарова: (1) Стержень, (2), Спица (3) Кольцо

### Последние достижения в механике аппарата Илизарова

В США исследователи из Питтсбургского университета представили усовершенствованный аппарат Илизарова, оснащенный датчиками и приводами, который обеспечивает обратную связь с данными в режиме реального времени и оснащён автоматическими настройками для повышения хирургической точности и эффективности. Тем временем в Израиле Израильский технологический институт Технион впервые разработал высокопрочный дистракционный винт, эффективно снижающий осложнения при операции Илизарова. Наконец, Университет Сан-Паулу в Бразилии представил революционную систему компьютерной хирургии (CAS), специально разработанную для процедур Илизарова, которая произвела революцию в планировании и проведении хирургических операций с беспрецедентной точностью и эффективностью [2].

### Заключение

Эти недавние разработки в США, Израиле и Бразилии служат примером постоянного стремления инженеров-механиков к развитию устройств внешней фиксации и реконструкции костей. Поскольку мировое сообщество сотрудничает с целью улучшения результатов лечения пациентов и эффективности хирургических операций, эти инновации помогут в корне поменять оказание ортопедической помощи. Жизненно важная роль машиностроения в этих достижениях подчеркивает его значение в формировании будущего здравоохранения.

### Список литературы:

1. Malkova, T.A., & Borzunov, D.Y. (2021). International recognition of the Ilizarov bone reconstruction techniques: Current practice and research (dedicated to 100th birthday of G.A. Ilizarov). *World Journal of Orthopedics*, 12(8), 515–533. <https://doi.org/10.5312/wjo.v12.i8.515>.
2. Penhavel, R.A. (2014). Evaluation of the effects of maxillary advancement with osteogenic distraction, using a rigid external distractor (RED), in patients with cleft lip and palate. Master's Thesis, Hospital for Rehabilitation of Craniofacial Anomalies, University of São Paulo, Bauru. doi:10.11606/D.61.2014.tde-08012015-113216.

## **КРИТЕРИИ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ**

*Баловнев Н.П.<sup>1</sup>, Бровкина Ю.И.<sup>2</sup>, Стариков А.И.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Московский политехнический университет, Москва, Россия,  
Факультет базовых компетенций, канд. техн. наук,  
E-mail: n.p.balovnev@mospolytech.ru;*

<sup>2</sup>*Московский политехнический университет, Москва, Россия,  
Факультет базовых компетенций, канд. техн. наук,  
E-mail: yulbrovkina@yandex.ru;*

<sup>3</sup>*Московский политехнический университет, Москва, Россия,  
Факультет базовых компетенций, ст. преподаватель,  
E-mail: alexigorevich@mail.ru*

Основы теории ременных передач, заложенные Ponselet S. [1], Петровым Н.П. [2], Жуковским Н.Е. [3], получили значительное развитие в теоретическом и прикладном направлениях в фундаментальных работах отечественных [4, 5, 6] и зарубежных авторов. Ременные передачи постоянно совершенствуются, однако некоторые аспекты расчета и конструирования ременных передач требуют дальнейшего развития и уточнения [7, 8].

Работоспособность ременных передач принято оценивать по тяговой способности, ресурсу ремня и коэффициенту полезного действия (КПД). При этом на работоспособность современных ременных передач влияют, в значительной степени, способ и величина силы натяжения ремня [9, 10]. Это, в свою очередь, требует дифференцированного подхода к расчету и проектированию ременных передач с различными натяжными устройствами, что недостаточно полно отражено в известных публикациях [11, 12, 13], а также национальных и международных нормативных документах [14, 15], что особенно важно для повышения точности практических инженерных расчетов.

Проведенный расчетно-экспериментальный анализ показал необходимость уточнения методик расчета и конструирования самонатяжных ременных передач. Предложены диапазоны увеличения передаваемых мощностей для передач с автоматическими натяжными устройствами при одновременном снижении величины начального натяжения ремня.

Наиболее распространенным по способу натяжения ремня видом являются ременные передачи с фиксированным межцентровым расстоянием. В таких передачах натяжение ремня осуществляют перемещением и последующим закреплением одного из рабочих шкивов или рычага натяжного ролика.

Реже используют натяжение ремня грузом или пружиной. Такое натяжное устройство сложнее, но автоматически обеспечивает постоянное суммарное натяжение ветвей ремня, исключая необходимость периодического подтягивания ремня для компенсации неизбежной вытяжки последнего в процессе работы.

Другими менее распространенными в практике транспортного, а также других отраслей машиностроения, но более эффективными способами натяжения ремней, особенно при значительном изменении передаваемой нагрузки, являются различные способы автоматического натяжения ремня, в частности: подпружиненным натяжным роликом, обеспечивающим постоянное натяжение ведомой ветви ремня; с использованием реактивного момента [6, 11] путем поворота подвижного диска шкива, вращающегося винтообразно с помощью кулачковой поверхности в зависимости от момента сопротивления [5].

Передачи с натяжением реактивным моментом и за счет момента сопротивления, позволяют обеспечивать практически постоянный коэффициент тяги, а, следовательно, и КПД в практически неограниченном диапазоне изменения полезной нагрузки. Ограничением может служить лишь предельно допустимые напряжения в ремне. Это подтверждается результатами, полученными авторами [9, 11] и другими исследователями [4, 5]. Следует отметить, что передачи, обеспечивающие постоянство коэффициента тяги, весьма сложны конструктивно, дороги и поэтому не нашли широкого распространения. К тому



же они неререверсивные. Обычно используют более простые в исполнении передачи с некоторым предварительным натяжением, отличным от нуля. Они близки по своим тяговым характеристикам к передачам с подпружиненным натяжным роликом [16, 17].

Передачи с натяжением за счет момента сопротивления также требуют некоторого предварительного поджатия подвижного диска шкива пружинным или иным механизмом для создания начального натяжения ремня. Последние используются преимущественно в вариаторах, например, мототранспортных средств [5].

**Выводы.** Экспериментально установлено, что тяговую способность силовых ременных передач целесообразно оценивать по кривым скольжения, в зависимости от передаваемой нагрузки, так как кривые скольжения, в зависимости от коэффициента тяги не отражают влияние и особенности различных (возможных) способов натяжения ремня. Показано, что ременные передачи с подпружиненным натяжным роликом, с использованием реактивного момента и с натяжением в зависимости от момента сопротивления существенно превосходят по тяговой способности передачи с фиксированным межцентровым расстоянием и с натяжением ремня грузом или пружиной.

### Список литературы

1. Ponselet S. Cours de Mécanique appliquee des Machines., 1845.
2. Петров Н.П. Влияние трения при работе упругим ремнем. Известия СПб Технологического института, 1893.
3. Жуковский Н.Е. О скольжении ремня на шкивах. Собр. соч., Т 8. М., ОНТИ, 1937.
4. Воробьев И.И. Ременные передачи. М.: Машиностроение, 1975, 168 с.
5. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы). М.: Машиностроение, 1980, 320 с.
6. Пронин Б.А., Баловнев Н.П., Жуков К.П. Ременные передачи. В кн. Машиностроение. Энциклопедия. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. М.: Машиностроение, 1995, С. 606–631.
7. Баловнев Н.П. Анализ методов расчета клиноременных передач. В кн. Агрегаты и приводы сельскохозяйственных машин. М.: НПО ВИСХОМ, 1985 С. 60–71.
8. Balovnev N.P., Brovkina Yu.I., Dmitrieva L.A. V-belt drives for agricultural machines. AIP Conference Proceedings 2503, 030031 (October 2022); <https://doi.org/10.1063/5.0099402>.
9. Баловнев Н.П., Вавилов П.Г. О совершенствовании индивидуальной системы энергоснабжения пассажирских вагонов. Тяжелое машиностроение. 2009. № 3. – С. 35–39.
10. Баловнев Н.П., Дмитриева Л.А. Расчет клиноременных передач сельхозмашин с автоматическим натяжением ремня. Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 9. – С. 39–41.
11. Баловнев Н.П., Семенков Е.Н. К расчету самонатяжных клиноременных передач. В сб. Исследование и обоснование рабочих органов, систем автоматизации и схем машин для сельскохозяйственных культур. М.: ВИСХОМ, 1984, с. 124–130.
12. Пронин Б.А., Овчинникова В.А. Расчет клиноременных передач. – Вестник машиностроения, 1982, № 3, с. 23–26.
13. Balovnev N.P., Brovkina Yu.I., Starikov A.I. Improved Belt Drives. Russian Engineering Research 2023, Vol. 43, No. 9, pp. 1064–1067. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23090071>
14. ГОСТ 1284.3-96: Межгосударственный стандарт. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемые мощности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.
15. РТМ23.2.90-85. Методика проектирования и расчета клиноременных передач сельскохозяйственных машин с натяжными подпружиненными шкивами, обеспечивающими постоянство натяжения ведомой ветви. – М.: ВИСХОМ, 1984. – 34 с.
16. Баловнев Н.П., Дмитриева Л.А., Семин И.Н. Экспериментальная оценка тяговой способности ременных передач с различными способами натяжения ремня. Известия московского государственного университета МАМИ. 2012. Т.1. № 2 (14). С. 23–29.
17. Баловнев Н.П., Дмитриева Л.А., Семин И.Н. Результаты сравнительных испытаний клиноременных передач с различными способами натяжения ремней. Автомобильная промышленность. 2013. № 5. С. 19–21.

# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

*Бессонов А.Е.<sup>1</sup>, Михайлов А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский горный университет, аспирант кафедры машиностроения,  
E-mail: s215049@stud.spmi.ru;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский горный университет, профессор кафедры машиностроения,  
E-mail: mikhailov\_av@pers.spmi.ru*

## **Аннотация**

Рассмотрен комплексный подход к оценке квалификации оператора карьерного экскаватора на основе анализа времени рабочего цикла с учетом коэффициента наполнения ковша. Использование данного подхода позволяет оценить не только производительность, но и наработку рабочего оборудования экскаватора.

## **Введение**

Карьерные электрические экскаваторы представляют собой высокотехнологичные машины, играющие ключевую роль в добыче полезных ископаемых при разработке карьеров. На сегодняшний день данный вид горного оборудования развивается за счет увеличения объема экскавируемой массы за один рабочий цикл, при этом увеличиваются габариты машины и энергоемкость процесса экскавации. Вследствие чего, приоритетной задачей для исследования стал анализ надежности машин. Одним из наименее изученных факторов, влияющих на надежность горного оборудования, является анализ экскаватора как эргатической системы [1].

Система человек-машина представляет собой взаимодействие оператора с оборудованием, критерием которой может выступать уровень квалификации оператора. Как правило для оценки уровня квалификации используется производительность, которая обеспечивается благодаря профессиональным навыкам управления оборудованием. Однако, при рассмотрении спорных ситуаций, связанных с незапланированными остановами машины до истечения ее ресурса, возникает необходимость в дополнительных критериях оценки уровня квалификации оператора, позволяющих в свою очередь оценить и наработку оборудования при различных стилях управления оператором [2, 3].

Таким образом более точная оценка уровня квалификации оператора с помощью комплексного подхода, включающего в себя анализ времени рабочего цикла с учетом коэффициента наполнения ковша, является более полной и точной методикой оценки профессиональных навыков и эффективности работы оператора. Данный подход позволит оценить:

- наработку оборудования, непосредственно на месте эксплуатации;
- необходимость переобучения оператора, для поднятия уровня квалификации;
- эффективность эксплуатации оборудования за счет снижения энергоемкости процесса экскавации.

## **Материалы и методы исследования**

В рамках исследования был проведен эксперимент на тренажерном комплексе, имитирующем функционирование карьерного электрического экскаватора ЭКГ-18Р. Целью эксперимента было определение времени, необходимого для переквалификации оператора на другой типоразмерный ряд экскаваторов, а также определение параметров для комплексного подхода к оценке уровня квалификации оператора. Для достижения поставленной цели был привлечен оператор, работавший до этого на экскаваторе ЭКГ-12К со стажем 10 лет. Эксперимент проводился на протяжении 8 дней, суммарное время тестирования составило 35 ч, по прошествии учебного дня оператор проходил контрольное упражнение, которое состояло в заполнении углем кузова 220-тонного БелАЗа при нормальных погодных условиях [4].

По результатам эксперимента был получен график зависимости параметров наработки от количества отработанных часов (рисунок). Анализ данных показывает, что, в пе-

риод с 5 по 8 день обучения производительность в целом возросла и стабилизировалась на требуемом уровне, количество рабочих циклов уменьшилось и стабилизировалось за счет увеличения коэффициента наполнения ковша, что в итоге свидетельствует о росте уровня квалификации оператора при данном стиле управления экскаватором. Таким образом, эксперимент на тренажерном комплексе при проведении переобучения опытного оператора на другой типоразмерный ряд экскаваторов показал, что можно рекомендовать рациональный период переобучения в течение 5 дней.

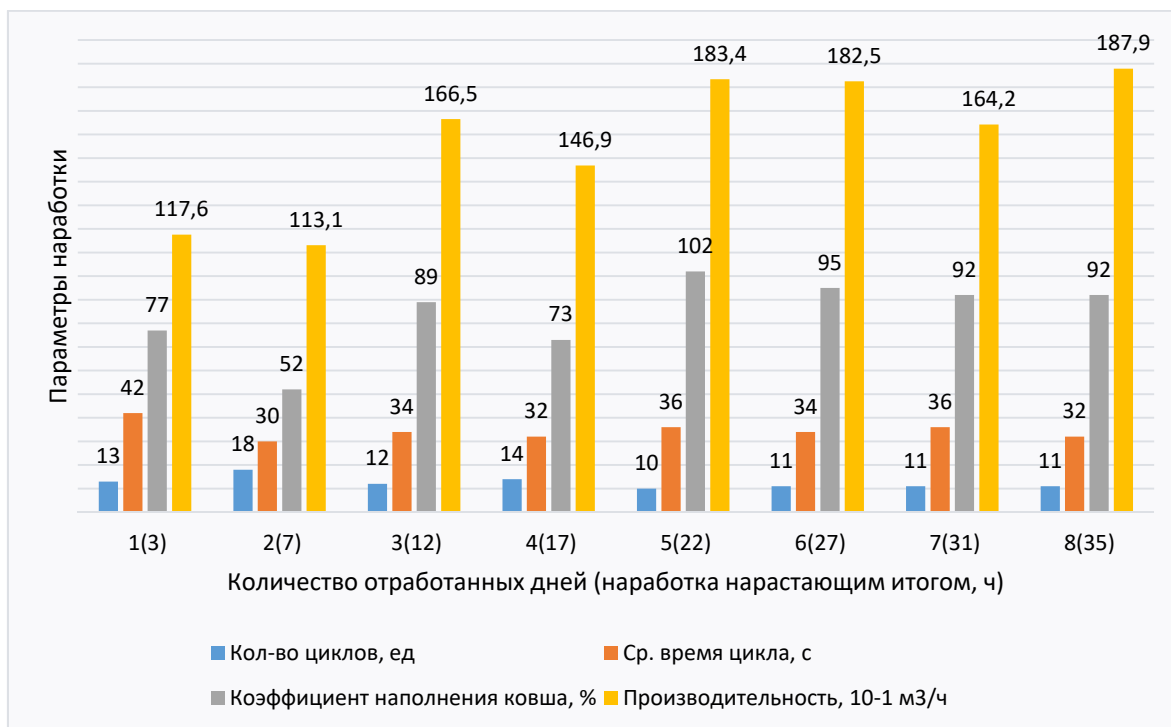


Рис. 1. Зависимость изменения параметров наработки от количества отработанных часов

## Вывод

Предложенный подход к оценке уровня квалификации оператора экскаватора включает в себя более детальный анализ процесса экскавации и учет ряда дополнительных параметров, что в совокупности позволяет оценить различные аспекты управления горной машинной. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят более точно определять рациональный стиль управления карьерным экскаватором для поддержания производительности на требуемом уровне при снижении эксплуатационных издержек на простои и ремонт оборудования.

## Список источников:

1. Иванов С.Л., Иванова П.В., Кувшинкин С.Ю. Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации // Записки горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 228–233.
2. Махно Д.Е. К методике оценки уровня квалификации машиниста экскаватора / Д.Е. Махно, П.Я. Зельцер // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – 2011, – № 12. – С. 105–107.
3. Емельянов А.А., Иванов С.Л., Шибанов Д.А. К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора / А.А. Емельянов, С.Л. Иванов, Д.А. Шибанов // Горный информационно-аналитический бюллетень, – 2017, – № 38. – С. 442–453.
4. Бессонов А.Е., Шибанов Д.А., Михайлов А.В., Шишкин П.В. Анализ уровня квалификации оператора карьерного электрического экскаватора по показателям наработки // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 21. – С. 111–116.

## КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДОВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ

*Богданов Д.А.*

*НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-20,*

*E-mail: dab38@tpu.ru*

*Буханченко С.Е., к.т.н.,*

*НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент,*

*E-mail: triboss@tpu.ru*

Подшипники являются одной из ключевых деталей во многих механизмах, и их состояние напрямую влияет на эффективность работы и безопасность оборудования. Для объективной оценки технического состояния подшипников необходимо наличие соответствующего испытательного оборудования, позволяющего с высокой степенью точности определять их характеристики.

Целью данной работы является создание Автоматизированного комплекса вибрационной диагностики подшипников (далее Комплекс). В данном тезисе представлена разработанная принципиальная схема будущего Комплекса.

Принципиальная схема Комплекса, представлена на рис. 1. Комплекс состоит из семи основных модулей: Основание (2), Основание наклонное (3), Привод наклона оси вращения подшипника (4), Модуль вращения внутреннего кольца подшипника (5), Модуль осевого нагружения подшипника (6), Модуль радиального нагружения подшипника (7), Модуль измерительный (8).

Комплекс работает следующим образом: диагностируемый подшипник (1) установлен на цангу, закрепленную в шпиндельном узле Модуля вращения внутреннего кольца подшипника (5). Шпиндельный узел соединен через гидравлическую муфту и датчик момента с приводным электродвигателем, на котором установлен энкодер для фиксации частоты вращения и угла поворота вала электродвигателя. Модуль вращения внутреннего кольца подшипника (5) через демпферы закреплен на Основании наклонном (3).

Также на Основании наклонном (3) закреплены три пневмоцилиндра Модуля осевого нагружения подшипника (6). Рама Модуля осевого нагружения подшипника (6) перемещается на направляющих скольжения по Основанию наклонному (3). Три электродвигателя, закрепленные на раме Модуля осевого нагружения подшипника (6) приводят в движение три регулируемых лепестка для позиционирования их на внешнем кольце подшипника разных диаметров, затем Модуль осевого нагружения подшипника (6) опускается на диагностируемый подшипник (1) для создания осевой нагрузки.

Модуль радиального нагружения подшипника (7) закреплен на раме Модуля осевого нагружения подшипника (6) и состоит из рамы и пневмоцилиндра, создающего радиальную нагрузку, на штоке которого закреплен Модуль измерительный (8). В свою очередь Модуль измерительный (8) состоит из корпуса, пневмоцилиндра и датчика вибрации, закрепленного на штоке пневмоцилиндра, служащего для поджима датчика вибрации и диагностируемому подшипнику (1).

Основание наклонное (3) шарнирно закреплено на Основании (2) и благодаря Приводу наклона оси вращения подшипника (4) имеет возможность менять угол наклона оси вращения диагностируемого подшипника (1) для имитации его работы в различных положениях.

Привод наклона оси вращения подшипника (4) состоит из электродвигателя с тормозом и энкодером, приводящего в движение Основание наклонное (3), через червячный редуктор.

Основным достоинством Комплекса является минимальный уровень собственных шумов, что позволяет получать наиболее точные значения вибрационных параметров подшипников. Также к достоинствам можно отнести возможность испытывать как подшипники качения, так и скольжения, возможность динамического нагружения подшипников, регулируемый наклон оси вращения подшипников и модульность конструкции.

Применение Комплекса целесообразно на предприятиях, обладающих широким парком технологического оборудования, для рационального использования подшипников в том или ином узле технической системы машины или механизма, на предприятиях подшипниковой промышленности для контроля качества продукции, а также в научно-исследовательских центрах для исследования работы подшипников в различных условиях.

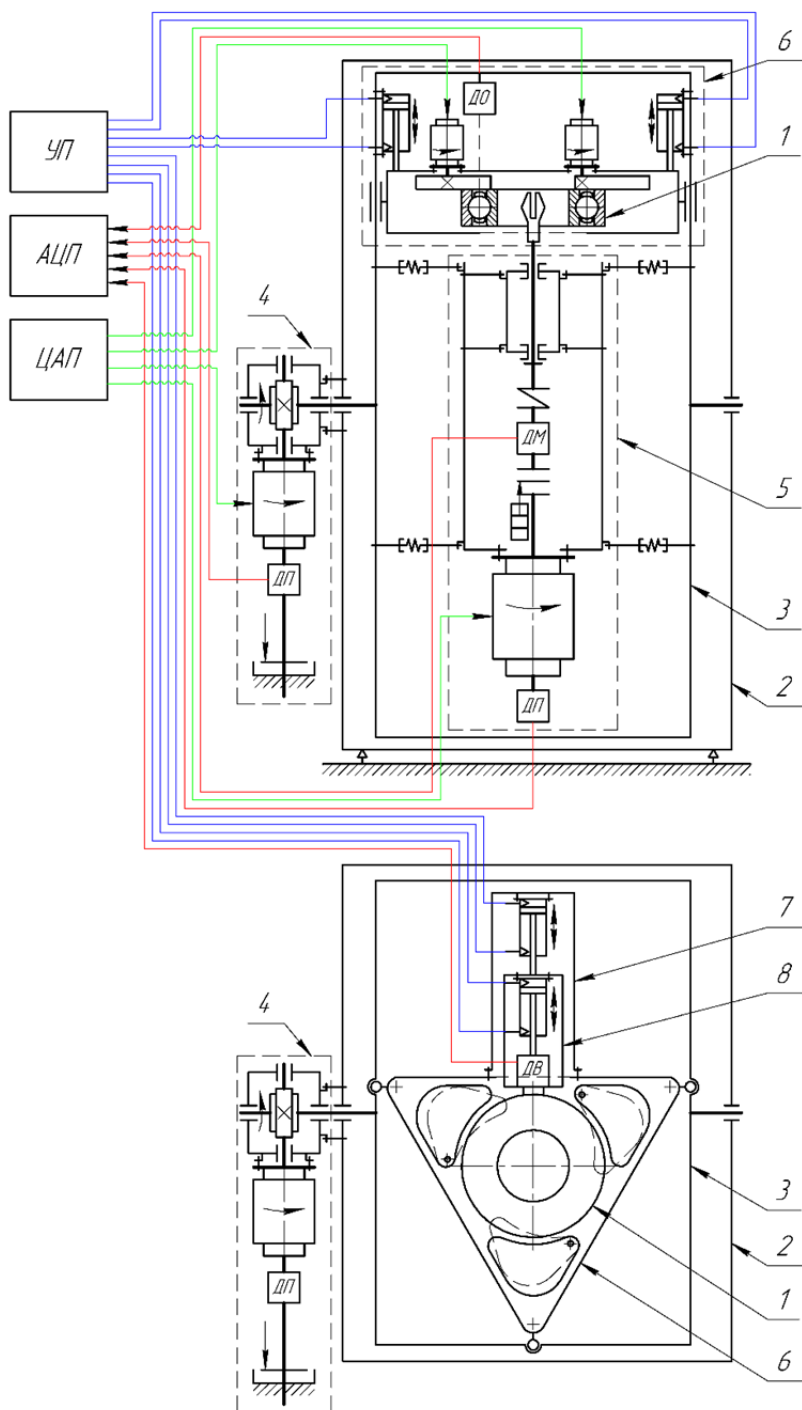


Рис. 1. Принципиальная схема Автоматизированного комплекса вибрационной диагностики подшипников

### Список литературы

Богданов Д.А. Стенд для вибрационного контроля состояния подшипников качения: магистерская диссертация / Д.А. Богданов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ), Отделение машиностроения (ОМШ) ; науч. рук. С.Е. Буханченко. – Томск, 2023.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ В САЕ

*Гундрум А.В.*

*НИ ТПУ, ИШПР, Отделение нефтегазового дела, 2БМ36,*

*E-mail: avg90@tpu.ru*

В настоящее время все более распространено применение компьютерного инженерного анализа (САЕ) для оценки прочности и надежности трубопроводов. САЕ позволяет инженерам проводить более точные и эффективные исследования, сокращая затраты на физические испытания и уменьшая время разработки.

Одной из ключевых задач в анализе прочности трубопроводов является определение мест наибольших напряжений и деформаций, которые могут привести к повреждению или разрушению конструкции. САЕ-системы позволяют инженерам моделировать трубопроводы, учитывая их геометрию, материалы и нагрузки, и проводить различные анализы, чтобы оценить их прочность.

Одним из наиболее распространенных методов анализа прочности трубопроводов в САЕ является метод конечных элементов (МКЭ). В этом методе трубопровод разбивается на конечные элементы, аппроксимирующие его геометрию и свойства, и решается уравнение равновесия для каждого элемента. Затем определяются напряжения и деформации в каждом элементе, а также максимальные значения по всему трубопроводу.

Анализ прочности трубопроводных систем в САЕ (Computer-Aided Engineering, компьютерное инжиниринговое моделирование) включает в себя использование специализированного программного обеспечения для моделирования и расчета напряжений, деформаций и прочности трубопроводов.

В процессе анализа прочности трубопроводов в САЕ применяются следующие шаги:

1. Создание геометрической модели трубопровода. С помощью CAD (Computer-Aided Design, компьютерное инженерное проектирование) создается трехмерная модель трубопровода, которая включает в себя все компоненты, такие как трубы, фланцы, отводы, сопла и т. д. Эта модель представляет геометрию трубопровода и служит основой для дальнейших анализов.

2. Применение граничных условий. Задаются условия граничных условий, такие как опорные точки, фиксирование, приложение нагрузок и давления. Это позволяет определить поведение трубопровода при различных условиях нагрузки и деформации.

3. Моделирование материалов. Задаются свойства материалов, из которых сделаны трубы и компоненты трубопровода. Это включает в себя модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициенты термического расширения и другие параметры, которые влияют на поведение материала под нагрузкой.

4. Расчет напряжений и деформаций. С помощью метода конечных элементов (Finite Element Method) или других подходов выполняется анализ напряжений и деформаций в трубопроводе. Это позволяет определить места наибольших напряжений, возможные деформации и учитывать различные факторы, такие как внутреннее давление, перепады температур, ударные нагрузки и т. д.

5. Определение прочности и безопасности. На основе результатов анализа прочности определяется, удовлетворяет ли трубопровод требованиям безопасности и нормам проектирования. Если возникают проблемы с прочностью, проводятся дополнительные расчеты и модификации трубопровода, чтобы убедиться в его надежности.

6. Оптимизация и улучшение дизайна. На основе результатов анализа можно вносить изменения в дизайн трубопровода для улучшения его прочности и эффективности. Это может включать изменение размеров, использование других материалов, добавление поддержек или изменение геометрии.

Анализ прочности трубопроводных систем в САЕ позволяет инженерам предварительно оценить прочностные характеристики и предотвратить возможные повреждения

и отказы в эксплуатации. Это помогает экономить время, снижать затраты на испытания и повышать безопасность трубопроводов.

Моделирование трубопроводов с использованием элементов «труба» в программных продуктах АРМ является более эффективным подходом, чем моделирование с помощью оболочечных конечных элементов. Размерность решаемой задачи резко возрастает при использовании оболочечных элементов, что влечет за собой увеличение времени расчета. Элементы «труба» в программных продуктах АРМ позволяют моделировать трубопроводы более точно и быстро.

Моделирование трубопроводов с использованием элементов «труба» можно осуществить двумя способами:

- Моделирование с помощью обычных стержневых элементов, которым затем назначается тип конечного элемента «труба».
- Моделирование с использованием специальных команд, таких как «участок трубы», «тройник», «отвод», «трубопроводная арматура».

Для элементов «труба» необходимо задать дополнительные свойства, такие как:

1. Плотность жидкой среды, чтобы учесть ее присоединенную массу.
2. Плотность и толщину изоляции.
3. Внутреннее и внешнее давление, которые действуют на элемент трубопровода.
4. Допустимую коррозию для учета ослабления прочностных характеристик элементов трубопровода со временем.

Элементы «труба» могут использоваться вместе с другими типами конечных элементов, такими как линейные, оболочечные и объемные, при моделировании конструкций, в которых трубопроводы являются составной частью.

Для элементов «труба» доступны различные типы расчетов, такие как статический расчет, расчет устойчивости, расчет собственных частот и вынужденных колебаний, а также расчет на сейсмическое воздействие. Результатами расчетов являются деформационное состояние конструкции, напряженное состояние, температурные изменения, собственные частоты и формы колебаний, реакции опор, вынужденные колебания, параметры сейсмического нагружения и другие.

Использование элементов «труба» в программных продуктах АРМ значительно сокращает время моделирования и расчета различных задач.

### **Список литературы**

1. Анализ результатов инженерного расчета системы САЕ / Тиханов М.В., Шпехт А.В., Бородин Р.Г., Устинов В.А., Супрун Н.Ю., Меняев К.В. // Фундаментальные основы механики. 2017. № 2. С. 126–128.
2. Проектирование и инженерный анализ механизмов ВCAD/САЕ системах / Лашков В.А., Сорокин С.А., Кондрашева С.Г., Ганин Е.А. // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 3. – С. 139–142.
3. Математическое моделирование стресс-коррозионной трещины с использованием САЕ-систем / Семенов Л.А. // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 2 (27). – С. 117.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ И ПРИЧИН ОТКАЗА СТАНКОВ С ЧПУ

*Дыров Н.А., студент гр. 4НМ31  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: dyrov01@tpu.ru*

Станки с ЧПУ (Числовым Программным Обеспечением) – это оборудование, которое выполняет операций по обработке материалов по заданной программе практически без участия и контроля со стороны человека. Их используют как на крупных производственных предприятиях, так и в небольших цехах, и даже в домашних мастерских.

Такое широкое распространение станки с ЧПУ получили за счет того, что они имеют ряд весомых преимуществ, а именно:

- возможность выпускать крупные партии идентичных изделий с неизменно высоким уровнем точности и качества их изготовления;
- быстрая и удобная перенастройка оборудования с изготовления одного изделия на другое;
- более высокая скорость обработки изделий по сравнению с обычными станками;
- производительность в 2–5 раз выше по сравнению со станками с ручным управлением;
- высочайшая точность обработки, которую невозможно достигнуть на станках с ручным управлением;
- возможность изготовления изделий, имеющих особо сложную конфигурацию или крупные размеры;
- минимизирован риск брака вследствие ошибок рабочего.

Казалось бы, это идеальная машина и что может быть не так? Но, как известно, ничего идеального в мире нет. Также как и остальные механические устройства, машины и универсальные станки, станки с ЧПУ подвержены риску поломки или появлению неисправностей. О причинах неисправностей и видах поломок мы и поговорим.

Основные причины неисправностей станков ЧПУ:

- неправильно работает программное обеспечение;
- перегрузка устройства;
- нарушены нормы использования;
- комплектующие износились или повредились;
- неправильно сделанный ремонт.

Теперь рассмотрим основные виды поломок:

- электроника. К поломкам электроники относятся: неисправности контроллера, инвертора, шпинделя, провода, прошивки.
- Механика. К механическим неполадкам относятся: вибрация устройства, проблемы со шпинделем, подшипниками, осью, шаговым двигателем, люфт.
- Поломки вспомогательных деталей. К таким поломкам относятся: скопление воды в цанге либо гайке шпинделя, не работает помпа охлаждения, перегрев шпинделя, неполадки с вакуумным насосом.

Как известно, станки с ЧПУ являются достаточно дорогим удовольствием, соответственно, и их ремонт – это дело не из дешёвых. Следуя из этого, логичным является не допускать этих поломок и появления неисправностей в станках с ЧПУ. Для этого необходимо своевременно проводить техническое обслуживание, когда станок ЧПУ исправный. Именно таким способом можно предотвратить многие виды поломок.

Обслуживание оборудования с ЧПУ включает в себя технические и организационные мероприятия, которые должны обеспечить контроль над состоянием станков и поддерживать их выходные параметры только на точно заданном необходимом уровне в течение всего длительного периода эксплуатации. Поломки и ошибки ЧПУ станков выявляются в условиях сервисного центра в ходе проведения диагностики следующими методами:

- Практический. Отдельные части станка поочередно диагностируются специалистом. Если в каком-то секторе была найдена поломка, он делится еще на несколько частей,



и каждая из них отдельно диагностируется. Таким способом неисправность выявляется локально, а потом подбирается метод ее устранения.

- **Логический.** Эксперт по станкам с ЧПУ проводит аналитическую работу. Он анализирует функционирование отдельных узлов устройства и его работу в целом. Так, выявляются отклонения от нормы, на основе которых определяется причина поломки и способ ее устранения.

- **Тестовый.** Метод реализуется с помощью программы и специального оборудования. Программа выявляет, какие произошли отклонения от нормальной работы и как их можно устранить. Это оптимальный вариант для тех, кто хочет быстро найти поломку без разбора аппарата.

Также для того, чтобы обезопасить станок от внешних факторов, нужно обеспечить в цеху наличие определенного места и создать условия для его содержания. Например, необходимо предусмотреть защиту воздуха от проникновения внешних загрязнений. Для станка с ЧПУ должна быть индивидуальная вытяжная вентиляция. Планировка и размеры производственных помещений необходимо планировать так, чтобы обеспечить свободный доступ ко всем устройствам и узлам станков.

Станки с ЧПУ – это производительные станки с высокой точностью деталей на выходе, но и они могут выйти из строя и сделать много брака без должного ухода. Поэтому если у вас на предприятии есть станок с ЧПУ, обеспечьте ему должный уход и условия работы, и он отплатит вам сполна!

#### **Список литературы**

1. Бочкарев С.В. / Управление качеством: учебное пособие / С.В. Бочкарев, А.Б. Петроченков, А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 456 с.

2. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции: сокр. пер. с англ. / авт. предисл. и науч. ред. А.В. Гличев. – М.: Экономика, 1986. – 471 с.

3. Техническое перевооружение, реконструкция и проектирование машиностроительных производств: учеб.-практич. пособие / Л.А. Прокофьева, В.М. Сорокин, В.П. Пучков, А.И. Меньков; под ред. В.М. Сорокина; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 1995. – 308 с.

4. Схиртладзе А.Г., Пучков В.П., Прис Н.М. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 408 с.

5. Cheremiskina M.S. Load-bearing of axle-box assemblies / M.S. Cheremiskina, E.N. Pashkov // Journal of Economics and Social Sciences electronic scientific journal: – 2020. – № 16. – [4 p.].

6. Исследование надежности станков с ЧПУ ТПК-125 в реальных условиях эксплуатации / Пучков В.П., Якунин В.В. // Приволжский научный вестник. 2013. № 12–2 (28). С. 51–55.

## БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ БЕЗБОЙКОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА

*Жумадилов Ж.Е., Пашков Е.Н.*  
*НИ ТПУ, ИШНПТ, группа АЗ-20,*  
E-mail: zez2@tpu.ru

*НИ ТПУ, ИШНПТ, к.т.н. доцент ОМШ*  
E-mail: epashkov@tpu.ru

На сегодняшний день в горной промышленности набирает популярность внедрение машин, производящую импульсную нагрузку на оборудования. Для бурения скважин разного характера в горной местности для заложения взрывчатки для буровзрывных работ, добыча полезной руды и т. д. Данные работы осуществляются пневматическими перфораторами или гидроударными буровыми головками, вращательно-ударным способом.

Также буровые головки чаще всего используют гидроударный механизм. Внутри него есть боёк, который перемещается из стороны в сторону под давлением жидкости с обеих сторон. Такой механизм гораздо эффективнее, чем тот, который использует сжатый воздух.

Минусы таких механизмов:

- при движении деталей вперед и назад в трущихся парах возникают потери;
- большие гидравлические потери;
- шум и вибрация.

Впрочем, эти машины очень мощные, эффективно разрушают горные породы, они компактные и не требуют внешнего источника энергии. Именно поэтому они широко используются в горнодобывающей промышленности.

Создание новых высокочастотных импульсных устройств, которые позволяют изменять методы бурения при ударно-вращательном методе, может расширить применение этого метода. Использование гидроимпульсного оборудования при алмазном бурении дает возможность увеличить скорость бурения с помощью применения высокочастотных импульсов. Эти импульсы не разрушают алмазный инструмент, но достаточно сильны для разрушения горных пород.

Безбойковый гидроимпульсный механизм для вертикального бурения скважин в горной местности. Исследованием по созданию данного оборудования было предложено учеными и профессорами Томского политехнического университета, такими как В.Ф. Горбунов, П.Я. Крауиньш, Л.А. Саруев, В.А. Барашков.

Применение безбойкового и разработка гидроимпульсной системы в закрытой плоскости, дает возможность исключить, вышеуказанные недостатки машин гидроударной системы и это один из ключевых факторов для повышения КПД оборудования

Сильные стороны гидроимпульсного механизма (ГИМ):

- нет бьющихся деталей;
- низкий шум при работе оборудования;
- искробезопасность;
- не подвержено нагреву.

Также замечено если изменить массу, жесткость пружины и силу поджатия, меняются параметры генерирования импульса. Благодаря этому есть возможность управление ГИМ для создания импульса с установленными параметрами.

Рассмотрим механизм работы ГИМ, также создание импульсов, можно увидеть в следующих процессах. С диспетчерского пульта на блок управления 7 подается команда для работы, затем блок управления 7 направляет команду для работы на привод 6, далее начинает работу плунжер 5. Поле запуска плунжера 5 в корпусе жидкость подвергается компрессии в гидроцилиндре 1, происходят импульсы сжатия жидкости, которые создают давления на поршень 6 и стенки гидроцилиндра 1. Инерционная масса 2, сжатое пружинной 4, начинает активно колебаться в случае, если частота генерируемых импульсов давления жидкости равна собственной частоте колебаний, то есть входит в около резонансное состояние. Импульсная компрессия жидкости передается через поршень 3.

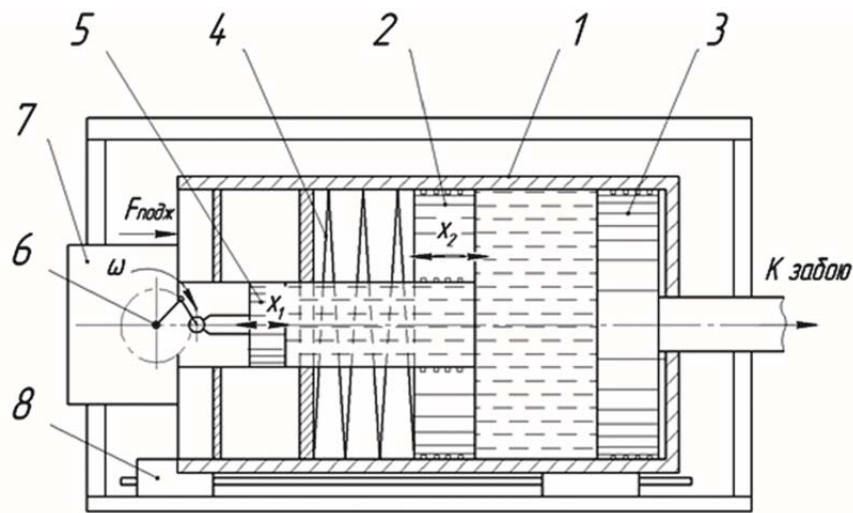


Рис. 1. Принципиальная схема ГИМ:

1 – гидроцилиндр; 2 – инерционная масса; 3 – поршень; 4 – пружина; 5 – поршень плунжера;  
6 – привод плунжера; 7 – блок управления; 8 – направляющие; 9 – основной корпус

Также были проведены математические расчеты составом совета ученых ТПУ Пашковым Е.Н., Саруевым Л.А., Зиякаевым Г.Р.

Чтобы описать систему уравнений силовых импульсов что гидроцилиндр неподвижен. Принимаем последующие координаты  $x_1$  – координата перемещения корпуса гидроцилиндра;  $x_2$  – координата перемещения плунжера (рис. 2)

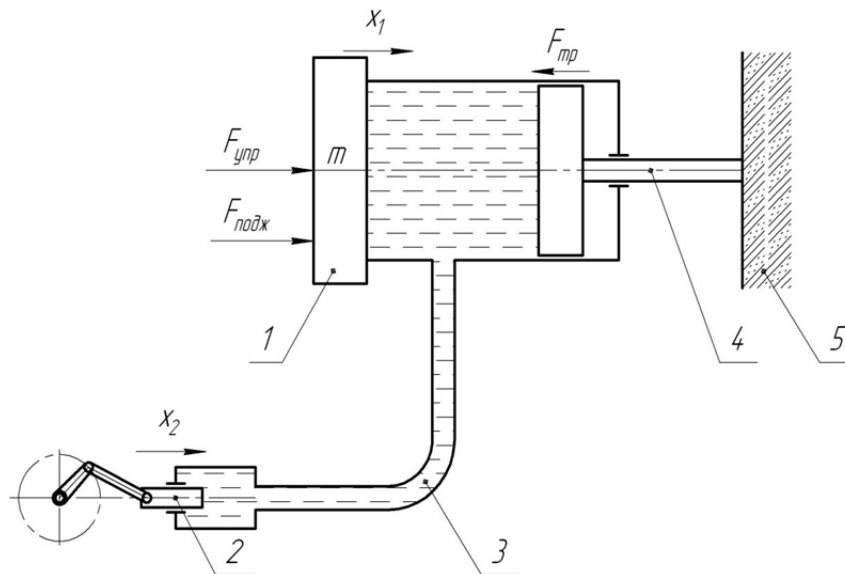


Рис. 2. Модель гидроимпульсного механизма:

1 – гидроцилиндр с активной массой; 2 – плунжер; 3 – рукав высокого давления (РВД);  
4 – бурильный инструмент; 5 – разрушаемая порода

Когда плунжер 2 начинает работы виде возвратно-поступательного движения, в этот момент образуются импульс давления жидкости, которые через плунжер и бурильный инструмент 4 передаются на рабочую поверхность виде разрушаемой породы 5.

В ходе создания расчетов дифференциального уравнения коллегией ученых советов ТПУ, на брались в расчет нелинейные зависимости давления в жидкости в закрытой рабочей системе ГИМ от изменений диапазона РВД при работе плунжера. Также в этих расчетах и поставленных экспериментах, можно с точностью сказать, что предложенный расчет верен для формирования силовых показателей в системе гидроимпульса. Учет влияний указанной нелинейности и внедрения бурового инструмента в горную породу в процессе бурения на работу гидроимпульсного механизма, является предметом дальнейшего исследования. [6]

### Список литературы

1. Патент на ПМ 69135 РФ. МПК7 E21B 6/02, B25D 16/00. Буровой станок для проходки скважин в подземных условиях / А.В. Шадрина, А.А. Казанцев, А.Л. Саруев, Л.А. Саруев. Оpubл. 10.12.2007 г.
2. Патент на ПМ 71369 РФ. МПК7 E21B 6/02, B25D 16/00. Станок для бурения скважин в подземных условиях / А.В. Шадрина, А.А. Казанцев, А.Л. Саруев, Л.А. Саруев. Оpubл. 10.03.2008 г.
3. Шадрина А.В., Саруев Л.А., Саруев А.Л. Динамические процессы в колонне труб при вращательно-ударном бурении скважин малого диаметра из подземных горных выработок – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. 2009. – 175 с.
4. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, 2010. – № 6.3 (13) – С. 61–65.
5. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин / Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. // Приволжский научный вестник, 2013. – № 4 (20). – С. 32–36.
6. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2011. – № 5 – С. 26–31.
7. Новосельцева М.В. Гидроимпульсный механизм бурильных машин для алмазного бурения горных пород // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 6. – с. 72 – 76;

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

*Кокорин Д.А., студент группы 5А03  
Солодовников Д.С., магистр группы 5АМ23,  
Черемискина М.С., научный руководитель  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: cms1@tpu.ru*

На данный момент нарастает актуальность применение аддитивных технологий для изготовления деталей. 3D-печать упрощает процесс создания цельных трехмерных объектов, обеспечивая возможность получения практически любой геометрической формы. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели [1].

Для исследования использовался экструзионный метод 3D-печати. При этом методе нить из термопластика подается в печатающую головку, где разогревается и выдавливается через экструдер на подвижную платформу 3D-принтера.

Образцы были получены на 3D-принтере «Creality3D Ender 3S», размер образцов 40 x40 x40 мм. Образцы печатались при следующих режимах: тип пластика «PLA»; диаметр сопла экструдера – 0,4 мм; высота слоев – 0,2 мм; ширина нити – 0,45 мм; коэффициент подачи пластика – 0,97; температура экструдера – 215 °С; температура стола первого слоя – 80 °С; скорость печати первого слоя 50 мм/с. температура стола остальных слоев – 60 °С; скорость печати 100 мм/с; скорость печати заполнения 80 мм/с

Для проведения испытаний на сжатие был подготовлен ряд образцов с формированием слоев с заполнением материала 25 и 50 %, решетка типа «сетка», а также с заполнением материала 25 %, решетки: «куб», «¼ куба», «динамический куб» и «восьмигранник» (рис. 1–3).

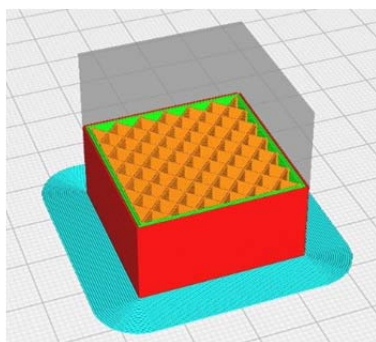


Рис. 1. Решётка «Сетка», заполнение 25 %

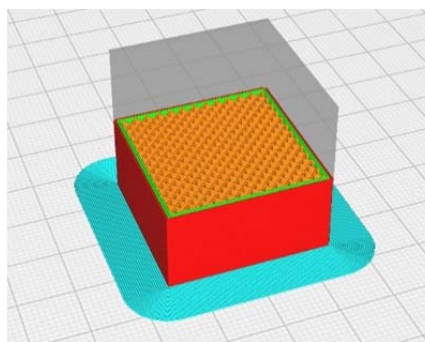


Рис. 2. Решётка «Сетка», заполнение 50 %

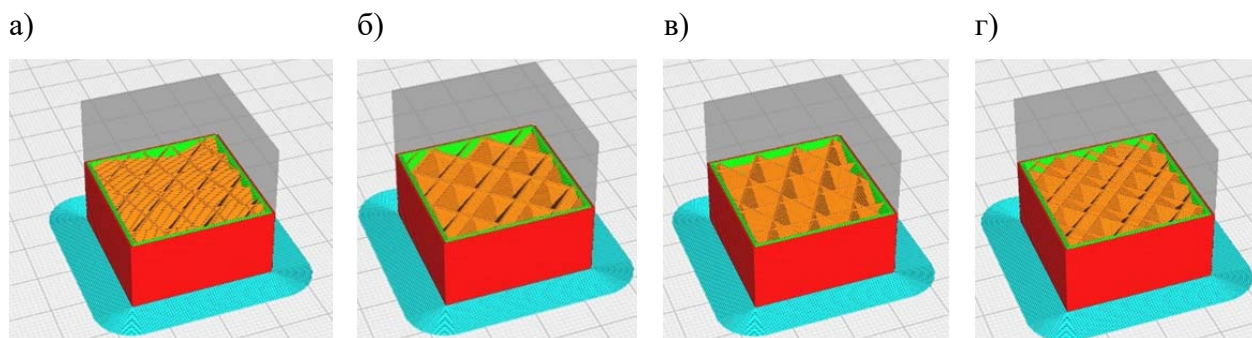


Рис. 3. Заполнение 25 %, решетка:  
а) «куб»; б) «¼ куба»; в) «динамический куб»; г) «восьмигранник»

В ходе проведение испытания, образцы помещались под пресс и испытывали сжатие, нагрузка была приложена поперек решетки. В результате были получены значение нагрузок. (табл. 1).

Таблица 1

Образец	Нагрузка, кг
Решетка «Сетка», заполнение 25 %	1,350
Решетка «Сетка», заполнение 50 %	2000
«Куб»	690
«1/4 куба»	660
«Динамический куб»	700
«Восьмигранник»	760

Из полученных данных можно сделать следующие выводы: чем больше плотность заполнения, тем большую нагрузку выдерживает образец. Увеличение воспринимаемой нагрузки идет линейно. Самой прочной из испытываемых решеток оказался тип решетки «Сетка», более сложная геометрия же, выдерживает меньшую нагрузку в пределах одних и тех же значений.

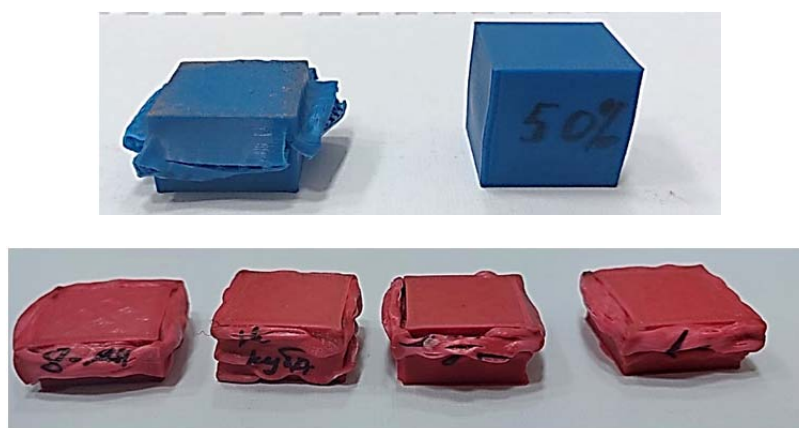


Рис. 4. Образцы после испытаний

Полное заполнение детали позволит повысить прочность на сжатие в 4 раза, однако при этом возрастут временные затраты и затраты материала более чем в 2 раза, по сравнению с заполнением в 25 %.

В дальнейшем планируется изучить влияние других режимов печати (высота слоев, температура экструдера, скорость печати, и др.) и способов приложения нагрузки, на качество полученной детали.

### Список литературы

1. Доступная 3D-печать. Для науки, образования и устойчивого развития [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0BwYwpIUU6gSuUW5uWldaYWswNkE/edit?pref=2 &pli=1>. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 4648-73 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач // АПМ М. 2007 –240 с.
3. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати / Балашов А.В., Черданцев А.О., Новиковский Е.А., Ананьин С.В., Белопловтов С.В. // Ползуновский вестник. 2016. № 2. С. 61–64.

## АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ, СНИЖАЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ РЕЗЕРВУАРОВ ТИПА РВС

*Комаров К.С.<sup>1</sup>, Павлов М.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*НИ ТПУ, ИШПР, группа 2БМ36,*

*E-mail: ksk47@tpu.ru*

<sup>2</sup>*НИ ТПУ, ОНД, кандидат физико-математических наук,*

*E-mail: mspavlov@tpu.ru*

Аннотация: Эксплуатация резервуаров РВС сопряжена с проблемами возникновения дефектов, что может привести к авариям. Решение этих проблем требует определения максимально допустимого износа, проведения регулярных обследований и принятия мер безопасности. Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации резервуаров, являются результатом коррозионного износа, неравномерной осадки основания и воздействия грунтовых и поверхностных вод

Ключевые слова: Резервуар вертикально стальной РВС, дефекты резервуаров, остаточный ресурс резервуара.

Возникновение дефектов во время эксплуатации резервуаров вертикальных стальных (РВС) является неизбежным процессом из-за коррозионного износа металла. Они могут быть вызваны структурными, технологическими и эксплуатационными факторами. Дефекты снижают надежность резервуара и приводят к авариям различной степени тяжести. Возникновение аварий на РВС в большинстве случаев сопровождается значительной потерей нефти, загрязнением окружающей среды и человеческими жертвами [1].

В работах М.А. Тарасенко, П.Ф. Сильницкого, А.А. Тарасенко и Сорокина В.А., Миловзорова Г.В. отмечается, что одним из наиболее распространенных дефектов, возникающих при длительной эксплуатации резервуаров, является коррозионное повреждение элементов конструкции. Внутренние поверхности днищ, нижних поясов и упорных углов подвержены более интенсивному повреждению [2, 3].

Одной из ключевых характеристик, по которой определяется состояние резервуара в целом или его отдельных компонентов, является максимально допустимый износ крыш, стенок, днищ и несущих конструкций резервуара. Эти параметры устанавливаются в соответствующих нормативных документах и служат важным критерием для оценки безопасности и работы резервуара. Постепенное коррозионное изнашивание основного металла днища, стенок и крыши приводит к потере устойчивости резервуаров, из-за чего становится невозможным проводить хранение нефтепродуктов в резервуарах. Таким образом, можно сделать вывод, что основными причинами появления дефектов в резервуарах являются деформация и воздействие коррозии от хранимого в них нефтепродукта.

В настоящей работе рассматривается важный случай возникновения ситуации, когда невозможно осуществить ремонт резервуара. Это может быть обусловлено различными факторами, включая финансовые ограничения или необратимость процесса, в котором участвует резервуар. В таких случаях необходимо провести прогнозирование остаточного ресурса резервуара типа РВС. Прогнозирование остаточного ресурса резервуара – это процесс, который включает периодическое обследование, измерение фактических толщин конструкций резервуара, анализ статистических данных и расчет остаточного ресурса для каждого элемента отдельно. При обследовании резервуара важно определить площадь, подверженную коррозии, количество измерений и степень неравномерности коррозии. Остаточный ресурс стенки резервуара определяется путем суммирования циклов, присутствующих на двух стадиях циклического разрушения:

$$N_c = N_0 + N_p,$$

где  $N_0$  – число циклов до образования микротрещин;  $N_p$  – число циклов до образования лавинообразной трещины. [4]

В данных случаях прогноз остаточного ресурса и определение безопасных режимов эксплуатации выполняется с использованием цифровых моделей на основе метода конечных элементов (МКЭ) [5]. Метод конечных элементов – аналитическая процедура, предназначенная для решения инженерных и физических задач. Данный метод основан на построении конечно-элементной модели объекта, где каждый элемент имеет геометрические параметры и механические характеристики материала. Решение получается аппроксимацией кусочно-непрерывными функциями, называемыми конечными элементами. Метод позволяет получить данные о перемещениях, деформациях и напряжениях конструкции. Данная информация полезна для принятия решений о безопасной эксплуатации объекта и ремонте [6].

Таким образом, проблема эксплуатационной надежности и долговечности конструкций резервуаров имеет современное значение. В свою очередь, решение данной проблемы обеспечит безаварийную эксплуатацию резервуаров. Для предотвращения и устранения у РВС вышесказанных дефектов рекомендуется принимать следующие меры: регулярные инспекции, контроль качества при изготовлении, правильное применение защитных покрытий, усиление мер безопасности, регулярное обслуживание. Соблюдение этих мер позволит предотвратить возникновение дефектов у РВС и обеспечит их более надежную и безопасную эксплуатацию.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что дефекты и повреждения снижают надежность резервуара и могут привести к авариям с потерей нефти и загрязнением окружающей среды. Когда ремонт резервуара невозможен, необходимо выполнять прогноз остаточного ресурса резервуара типа РВС, используя цифровые модели на основе метода конечных элементов (МКЭ). При этом важно проводить регулярные инспекции, контролировать качество при изготовлении, правильно использовать защитные покрытия и повысить меры безопасности для предотвращения и устранения дефектов. Обеспечение безаварийной эксплуатации и долговечности резервуаров является важным аспектом для сохранения их надежности и безопасности.

### **Список литературы**

1. Дмитриева А.С., Самигуллин Г.Х., Лягова А.А. Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с трещинным дефектом с использованием программного обеспечения ANSYS. – 2019. – С. 97–102.
2. Тарасенко М.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко А.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 5. – С. 78–82.
3. Сорокин В.А., Миловзоров Г.В. Дефекты резервуаров вертикальных стальных РВС. Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – № 34. – С. 1078–1082.
4. РД 153-112-017-97, 1997. «Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров». Уфа: Нефтемонтаждиагностика – С. 19–23.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5. Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3404–3408.
6. Калинин А.А. Анализ влияния дефектов геометрии стенки РВС на его напряженно-деформированное состояние при эксплуатации. – 2021. – С. 29–31.



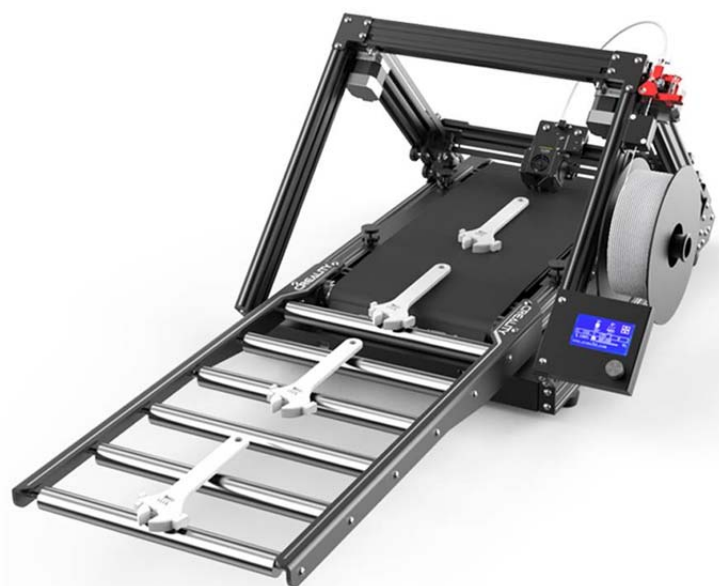
## КОНВЕЙЕРНЫЙ 3D-ПРИНТЕР: КОНСТРУКЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Кривошеев Д.Ю., студент гр. 4НМ31  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: dyk17@tpu.ru*

Конвейерный 3D-принтер – это устройство для создания трехмерных объектов путем послойного нанесения материала на движущуюся ленту. Может использоваться в различных отраслях, включая машиностроительное производство, медицину и дизайн.

Главная особенность таких принтеров – наличие транспортной конвейерной ленты вместо печатной платформы, что позволяет печатать объекты любой длины. Конвейерные системы 3D-принтеров позволяют автоматизировать процесс создания изделий, что значительно увеличивает производительность и снижает затраты на производство. Кроме того, конвейерная система 3D принтера может быть интегрирована с другими производственными процессами, такими как автоматизированная система сборки и упаковки, что делает ее ещё более эффективной и экономичной.

3D-печать на конвейерных лентах – технология, появившаяся в 2017 году, когда голландская компания Blackbelt 3D выпустила свою первую модель. С тех пор несколько других компаний последовали этому примеру, изучая конвейерную 3D-печать. Среди успешных примеров вывода на рынок также можно отметить Powerbelt Zero в 2019 году, а также проект White Knight. Наиболее известную модель представил мировой лидер в производстве настольных 3D-принтеров – компания Creality. Она представила модель принтера 3DPrintMill CR-30, которая имеет опцию оснащения рольгангом (рис. 1).



*Рис. 1. Конвейерный 3D-принтер 3DPrintMill CR-30 с рольгангом*

Лента PrintMill CR-30 изготовлена из износостойкого нейлона с текстурированной поверхностью для улучшения адгезии объектов. Чтобы предотвратить отклеивание объектов в месте сгиба ленты, в принтере предусмотрена дополнительная роликовая платформа, по которой объекты могут скользить в контейнер. Это позволяет осуществлять непрерывную серийную печать при условии, что нить филамента находится на катушке.

Что касается конструкции, то для всех 3D-принтеров подобных моделей можно выделить следующие элементы:

- платформа для размещения объекта;
- опорная рама для размещения компонентов системы;

- конвейерная лента, которая движется вперед и переносит каждый слой объекта;
- устройство для нанесения материала (например, экструдер для FDM-печати);
- система управления, которая контролирует движение конвейерной ленты и работу устройства для нанесения материала;

- источник питания, который обеспечивает энергией все компоненты принтера.

Кроме того, некоторые модели могут иметь дополнительные функции, такие как система очистки воздуха, автоматическая система подачи материала, рольганг, охлаждающие вентиляторы и др.

Также, конструктивно, конвейерные 3D-принтеры значительно отличаются от обычных принтеров FDM, работающих в декартовых или полярных координатах, так как в них используются наклонные сопла. Экструдер перемещается по портальной системе, движущейся в плоскости XY, которая наклонена под углом  $\leq 45^\circ$  к плоскости движения ленты. При печати под углом  $45^\circ$  слои детали тоже располагаются под углом  $45^\circ$ , что во многих случаях позволяет снизить потребность во вспомогательном материале.

Таким образом, основными преимуществами конвейерных 3D-принтеров являются:

- возможность непрерывной серийной печати;
- бесконечная печать вдоль направления движения ленты. Единственным ограничением является поиск конструкции для поддержки детали, если она превышает длину самого принтера;

- печать сложной геометрии без поддерживающих элементов.

Тот факт, что конвейерный 3D-принтер можно использовать для непрерывной печати, дает два основных преимущества – возможность массового производства небольших моделей и возможность печатать чрезвычайно большие модели. Это означает, что они особенно хорошо подходят для полуавтоматического или полностью автоматизированного производства. Однако перед использованием следует ознакомиться не только с преимуществами, но и недостатками таких принтеров. Например, помимо высоких цен и необходимости дополнительных опорных конструкций, эти типы принтеров печатают с относительно низкой скоростью, не могут печатать из ABS-пластика и некоторых других материалов, а также не могут иметь стеклянные печатные платформы.

До недавнего времени идея использования ленты совместно с 3D-принтером не находила широкого распространения в силу высокой стоимости. Сейчас же компании предлагают свои модели в ценовой категории до 100 тысяч рублей, и поэтому их привлекательность будет существенно выше для покупателей. Такое бюджетное решение позволит легко организовать мелкосерийное производство необходимых деталей практически без участия человека, необходимо будет только вовремя устанавливать новые катушки с нитью. Это важный шаг для начала использования 3D-принтеров не только как оборудования для прототипирования, но и как производственного оборудования, что открывает для конвейерной 3D-печати огромные перспективы: в автомобильной промышленности для создания деталей автомобилей, в медицине для создания протезов и имплантатов, а также в дизайне для создания архитектурных моделей и других предметов.

### **Список литературы**

1. 3DPrintMill: конвейерный 3D-принтер от Creality выходит на Kickstarter // 3D TODAY: сайт. – 2020 – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/3dprintmill-konveiernyi-3d-printer-ot-creality-vykhodit-na-kickstarter?ysclid=lp5k6y4by0890935776>
2. Creality 3DPrintMill / CR-30 // CREALITY: сайт. – URL: <https://creality-print.ru/creality-3dprintmill-3d-printer?ysclid=lp5kg6w846847125235>
3. Conveyor Belt 3D Printer: Complete Buyer's Guide 2023 // 3D SOURSED: сайт. – 2023 – URL: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/conveyor-belt-3d-printer/>

## ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРЛА

*Масловский А.А. студент группы 4А01  
ТПУ, ИШНПТ,  
E-mail: aam167@tpu.ru*

Твердотельное моделирование является неотъемлемой частью современного инженерного проектирования. Оно позволяет создавать трехмерные модели инструментов и объектов, которые могут быть использованы для анализа, визуализации, производства и многих других целей.

Спиральные сверла являются одним из наиболее распространенных типов металлорежущего инструмента, используемых в различных отраслях промышленности. Их конструкция постоянно совершенствуется с целью повышения производительности, точности и долговечности. Одним из перспективных направлений в этой области является применение компьютерного моделирования, в частности твердотельного моделирования.

### Анализ геометрии сверла

Первым шагом в твердотельном моделировании сверла является создание точной трехмерной модели его геометрии. Это включает в себя определение диаметра, длины, угла заострения и других параметров сверла. Точная модель позволяет проводить анализ формы и оптимизировать его для различных задач.

### Механический анализ

После создания трехмерной модели сверла можно провести механический анализ данного инструмента. Это позволяет оценить его прочность, жесткость и износостойкость. Анализ механических свойств сверла позволяет разработать более эффективную конструкцию, увеличить его срок службы и снизить возможность повреждений при эксплуатации.

### Анализ производительности

Другим важным аспектом твердотельного моделирования сверла является анализ его производительности. С использованием трехмерной модели сверла можно провести анализ скорости сверления, глубины проникновения, стойкости режущей кромки и других параметров. Это позволяет определить оптимальные условия эксплуатации сверла и достичь максимальной производительности при выполнении задач.

### Совместимость с другими инструментами

Твердотельное моделирование сверла также позволяет проверить его совместимость с другими инструментами и машинами, с которыми он будет использоваться. Это важно для обеспечения правильной работы сверла и предотвращения дополнительных повреждений. Анализ совместимости позволяет снизить риски и обеспечить более эффективное использование сверла.

### Оптимизация конструкции:

Твердотельное моделирование сверла позволяет провести оптимизацию его конструкции. С использованием анализа методом конечных элементов и моделирования можно улучшить геометрию сверла, выбрать оптимальные материалы и процессы производства. Это позволяет создать сверло, которое обеспечивает высокую точность, эффективность и надежность.

### Оптимизация создания моделей

С помощью параметрического моделирования и API функций, можно создать приложение для САПР, которое при вводе исходных данных будет автоматически выполнять построение модели. Это экономит время при создании стандартных сверл

Алгоритм построения твердотельной модели спирального сверла на примере сверла  $\varnothing 20$  с коническим хвостовиком:

- 1) Поиск исходных данных (ГОСТ 10903-77, ГОСТ 4010-77 и ГОСТ 25557-2016)

учитываются все геометрические параметры сверла, такие как диаметр, длина, угол наклона канавок и т. д.

Основные размеры сверл

$d = 20$  мм;  $l = 140$  мм;  $L = 238$  мм;

Конструктивные элементы сверл (ГОСТ 4010-77 Прил. 1)

$V = 11,8$  мм;  $f = 1,85$  мм;  $K = 2,85$  мм;  $q = 18,5$  мм;

Формы заточки и размеры режущих элементов сверл (ГОСТ 4010-77 таб. 2)

$\alpha = 11^\circ$ ;  $\psi = 40^\circ-60^\circ$ ;  $a = 2$ ;  $l = 3,5$ ;  $l_1 = 1,5$ ;  $f_n = 0,2-0,4$  мм;  $\alpha_1 = 6^\circ-8^\circ$ ;

Угол наклона и шаг винтовой линии стружечных канавок (ГОСТ 4010-77 таб. 4)

$\omega = 30^\circ$ ;  $H = 108,8$  мм

2) Построение модели:

- a. Создать заготовку
- b. Вырезать винтовую поверхность канавки
- c. Выполнить элементы заточки сверла
- d. Создать хвостовик

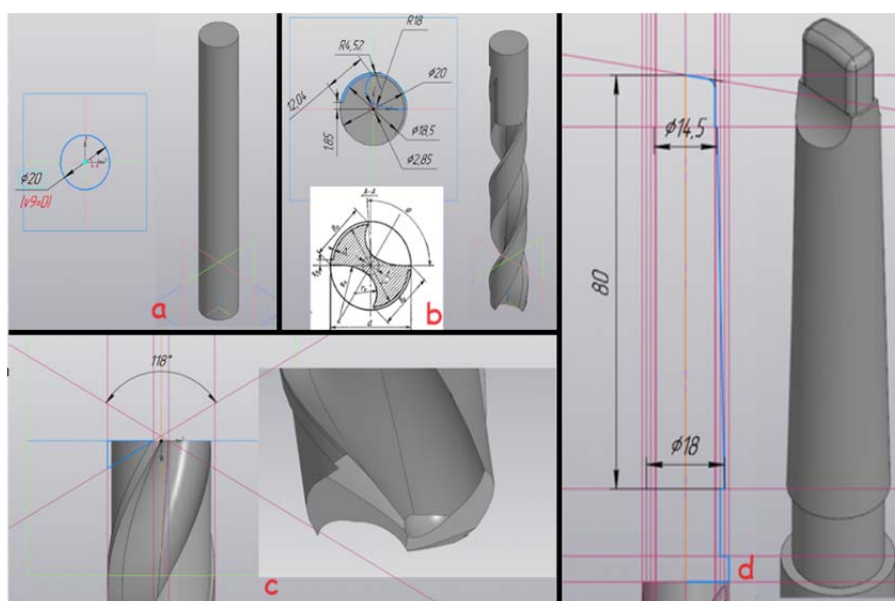


Рис. 1. Этапы моделирования

3) Задание физических свойств материала

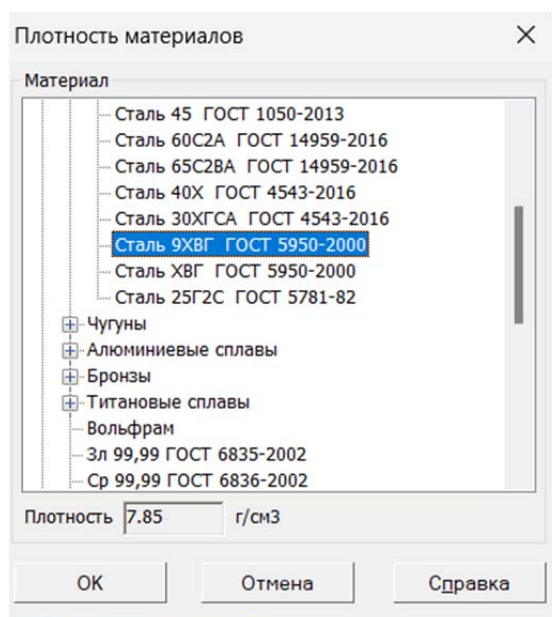


Рис. 2. Выбор материала



*Рис. 3. Твердотельная модель сверла 2301-0069 ГОСТ 10903-77*

#### **Заключение**

Твердотельное моделирование сверла является важным инструментом для анализа и оптимизации данного инструмента. Создание точной трехмерной модели сверла позволяет провести анализ его геометрии, механических свойств, производительности и совместимости с другими инструментами. Это позволяет разработать более эффективные и надежные сверла, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. В перспективе, применение аддитивных технологий в сочетании с компьютерным моделированием позволит создавать опытные образцы сверл с учетом всех особенностей их работы и требований заказчика.

#### **Список литературы**

1. Журнал САПР и Графика. 1.2013. [www.sapr.ru](http://www.sapr.ru).
2. ГОСТ 10903-77 Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Сверла спиральные. Часть 1: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 г.
3. ГОСТ 4010-77 Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия. Сверла спиральные. Часть 1: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 год.
4. ГОСТ 25557-2016 (ISO 296:1991) Конусы инструментальные. М.: Стандартинформ, 2020 год.
5. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко, А.В. Онишко, А.К. Сергеев. – Ленинград: «Машиностроение», 1987 – 846 с.

## СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛЮЧА ГКШ-1500 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

*Низомиддинов М.И.<sup>1</sup>, Валитова Е.Ю.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШПР, гр. 2БМ36,*

*E-mail: min9@tpu.ru*

*<sup>2</sup>НИ ТПУ, Отделение нефтегазового дела, к. пед. наук доцент,*

*E-mail: valitova@tpu.ru*

В настоящее время наряду с истощением месторождений нефти и газа, увеличение числа ремонтпригодных скважин является актуальной проблемой. Ремонт скважин имеет особую роль в развитии нефтегазовой отрасли. Для решения данной проблемы занимаются специальные подрядные организации или структурные подразделения заказчика, которые оснащены специальными техниками и оборудованием для осуществления в короткие сроки качественный ремонт скважин.

Основная часть ремонта скважин состоит из спускоподъёмных операций подвесок труб различного диаметра и длины в скважину. Для быстрого и безопасного свинчивания и развинчивания насосно-компрессорных труб используются гидравлические ключи типа ГКШ-1500, что входят в состав технической оснащённости бригад ремонта скважин. Неисправность гидравлического ключа приведет к нарушению технологического процесса, что напрямую повлияет на производительность и результат субъекта. В настоящее время в составе организаций, осуществляющих ремонт скважин числятся более 100 бригад ТИКРС, каждый из которых оснащен гидравлическим ключом ГКШ-1500. Техническое обслуживание и ремонт ключей такого количества требует необходимое количество обслуживающего персонала с умениями и навыками осуществления ремонта. Цех ремонта является вспомогательным объектом организации и на его обеспечение материальными, финансовыми средствами, а также необходимыми кадрами не уделяется особое внимание в отличие от основных процессов. Однако, надежная и качественная работа оборудования определяет результат и качество ремонта скважин. А также затраты на эксплуатацию оборудования не должны превышать допустимых пределов выделяемого бюджета.

Надёжность (Dependability) – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Безотказность (Reliability) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

Готовность (Availability) – способность объекта выполнять требуемые функции в заданных условиях, в заданный момент или период времени при условии, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены.

Долговечность (Durability) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность (Maintainability) – свойство объекта, которое заключается в его приспособленности в поддержании и восстановлении работоспособности объекта путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость (Storability) – свойство объекта непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение (и после) срока хранения и транспортирования.

Одной из основных неисправностей гидравлического ключа ГКШ-1500 является не захватывание челюстей при свинчивании и развинчивании труб НКТ. Для устранения неисправностей гидравлического ключа ГКШ-1500 требуется разработка и реализация эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта.

Техническое обслуживание, ориентированное на надежность (RCM-Reliability Centered Maintenance) – процесс определения, что должно быть сделано, чтобы оборудо-

вание продолжало выполнять требуемые функции в его текущем производственном контексте. RCM состоит из 7 шагов, которых будем рассматривать в продолжении статьи.

1. Шаг 1. Каковы функции объекта?

- безопасно и быстро свинчивать и развинчивать трубы НКТ, опускаемые и поднимаемые со скважины.

2. Шаг 2. Каким образом объект может отказать?

- износ плашек;
- износ тормозной ленты;
- образование люфта и нарушения плавного вращения роликов в сборке ротора;
- деформация внутреннего кольца ротора;
- износ или деформация зубьев ротора;
- увеличение диаметра ротора.

3. Шаг 3. Что может привести к отказу?

- естественный износ плашек, тормозной ленты и роликов более допустимого;
- не своевременная смазка роликов в сборке ротора;
- увеличение нагрузки на ротор при использовании для бурильных труб.

4. Шаг 4. Что случается при отказе?

- образуются риски на теле труб НКТ;
- уменьшится толщина трубы;
- нарушится герметичность подвески труб при опрессовке;
- повторные работы по СПО;
- ремонт или замена ГКШ-1500;
- непроизводительная время работы бригады за полный объём ремонта скважины.

5. Шаг 5. Насколько важен отказ?

Таблица 1

*Значимость отказа для предприятия*

	Очень высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Экология				
Безопасность				
Экономика				
Производство				

По табл. 1 можно увидеть, что производство и экономика являются более важным, что снижения доверия заказчика относительно использования неисправного оборудования в дальнейшем может привести к большим потерям.

6. Шаг 6. Можно ли сделать что-то, чтобы предсказать или предотвратить отказ?

- контролировать ухудшение (СВМ) – техническое обслуживание и ремонт по состоянию гидравлического ключа;
- заранее менять по наработке (ТВМ) – плановое техническое обслуживание и ремонт гидравлического ключа.

Для решения задачи рассмотрим диаграммы потенциальной возможности отказов и выберем для себя более подходящую диаграмму (рис. 1).

Для гидравлического ключа ГКШ-1500 выберем диаграмму «Pattern В», так как в начальном этапе эксплуатации неисправности случаются редко.

7. Шаг 7. Что делать, если предсказать или предотвратить отказ нельзя?

- подготовить план, которое смягчает последствия.

Таким образом после проведения обзора шагов для гидравлического ключа ГКШ-1500, можно получить диаграмму, которое можно использовать на практике для разработки и назначения задач по обслуживанию и ремонта оборудования (рис. 2).



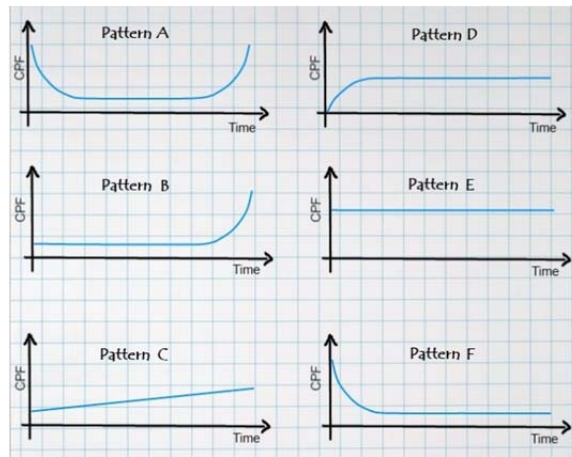


Рис. 4. Графики отказов

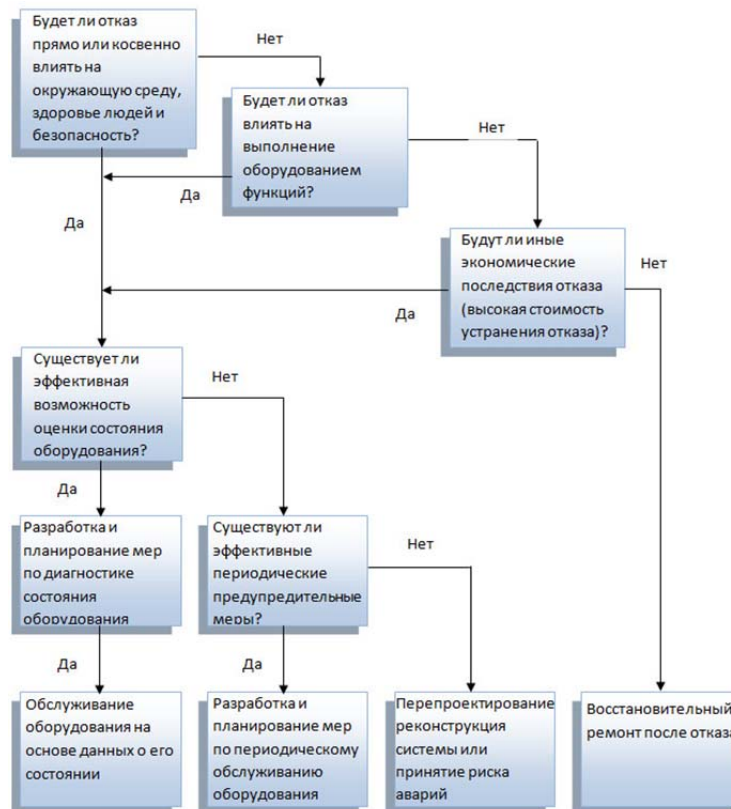


Рис. 2. Диаграмма обслуживания оборудования с использованием RCM-Анализа

### Список литературы

1. ООО «Уфагидромаш». Руководство эксплуатации гидравлического ключа ГКШ-1500. Редакция 2023 – Уфа, 5, 12–16 с.
2. Бабаев С. Г., Шахбазов Я. Г. Вопросы рациональной эксплуатации и ремонта бурового оборудования. ВНИИОЭНГ, 1970. 91 с.
3. Базовский И. Надежность, теория и практика, «Мир», 1965. 363 с.
4. Гост 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Москва – 2017. 1–5 с.
5. SAE LA1012, A Guide to the Reliability – Centered Maintenance Standard Up to date of August 19, 2010.
6. Минаев В. Стратегии ТОиР и пути повышения эффективности ремонтных работ // Ваш партнерконсультант. 2013. 55–57 с.
7. Интенсивность развития отказов: 6 вариантов сценария: сайт <http://rcm2.ru/stati-ob-rcm/intensivnost-razvitiya-otkazov-6-variantov-sczenariya/>



## СРАВНЕНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО, ПНЕВМОУДАРНОГО, ГИДРОУДАРНОГО МЕХАНИЗМОВ В БУРЕНИИ

Полицук А.А.<sup>1</sup>, студент гр. 0А25

Картавий Д.А.<sup>2</sup>, студент гр. 0Б21

Джасем Алаа Али<sup>3</sup>, магистрант университета Алеппо, Сирия

Пашков Е.Н.<sup>4</sup>, научный руководитель. ОМШ, доцент

НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: <sup>1</sup>aap175@tpu.ru; <sup>2</sup>dak110@tpu.ru; <sup>3</sup>alaa.jasem.91@mail.ru; <sup>4</sup>epashkov@tpu.ru

Основные принципы бурения скважин и, в частности, разрушения пород, зародились в конце XIX начале XX века. Одной из основных проблем в бурении является большая затрата времени на спускоподъемные мероприятия [1].

Как показали исследования – использование вращательного бурения режущими инструментами в паре с использованием высокоэнергетических упругих колебаний позволяет в 2–2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения пород, в 1,5–2 раза повысить износостойкость режущего инструмента, что позволит уменьшить затрату времени на спускоподъемные операции [2]. Источниками данных колебаний и является гидроимпульсный механизм [3], [4], [5], [6].

Для определения преимуществ гидроимпульсного механизма рассмотрим его строение и строение наиболее распространенных ударных механизмов, использующихся в бурении скважин, а именно: гидроударный и пневмоударный.

### Анализ пневмоударного механизма

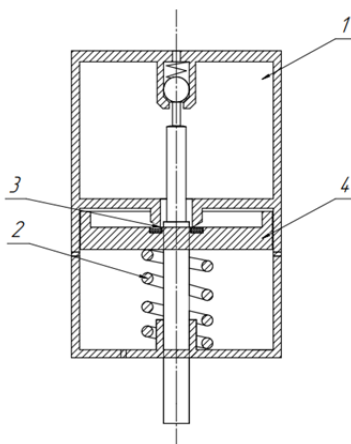


Рис. 1. Пневмоударный механизм

Упрощенный принцип работы пневмоударного механизма: сжатый воздух поступает в аккумулирующую камеру 1, в которой происходит поднятие давления, которое продолжается до тех пор, пока сила, действующая со стороны сжатого воздуха, не превысит установочное усилие пружины 2. При достижении равновесного состояния происходит разуплотнение седла 3, что сопровождается скачкообразным увеличением эффективной площади поршня 4, что приводит к ударному воздействию со стороны сжатого воздуха на поршень-ударник, после чего последний движется вниз и совершает работу [7].

В следствии ударных нагрузок коронки испытывают большие скачкообразные нагрузки, что негативно сказывается на их сроке службы. Наличие ударных нагрузок не позволяет использовать коронки, долота, которые имеют алмазные кромки, так как те, из-за своей хрупкости, быстро сколются. Все вышесказанное в сумме увеличивает время спускоподъемных операций, которые потребуются для замены коронок. Существенным минусом данного механизма можно назвать необходимость мощного насоса, который сможет развить давление, необходимое для стабильной работы и непрерывного забоя, а также потеря энергии в следствии деформации рукавов, проведенных до установки.

### Анализ гидроударного механизма

Ударник спускается в скважину на бурильной колонне, разгрузкой колонны шток 3 перемещается вниз до захода поршня камеры 7 и далее до упора верхнего переводника 15 в торец корпуса 1. Благодаря гидравлическому сопротивлению в зазорах между поршнем 4 и поршнем 9 усилие натяжения накапливается в виде энергии упругой деформации удлинения бурильной колонны. В верхней камере возникает давление из-за сжатия вязкой жидкости. Поршень 4 начинает двигаться вверх. Сжимая пружину 10, объем нижней камеры увеличивается и поршень 9 перемещается вниз. Через малые зазоры в подпоршневую область начинает перетекать жидкость, поршень 4 продолжает двигаться вверх и входит в расширенную верхнюю камеру 6. Гидравлическое сопротивление исчезает, шток 3 получает возможность свободно двигаться и с высокой скоростью перемещается вверх. В конце хода боек 5 наносит удар по наковальне [8].

Данный механизм, как и пневмоударный, в своей конструкции имеет поршень-ударник и наковальню, а также большое количество трущихся частей, из чего следуют минусы, приведенные для предыдущего механизма. Для работы гидроударного механизма так же требуется наличие установки, которая сможет создать и поддерживать давление рабочей жидкости во время всего забоя. У данного механизма так же присутствует проблема потери энергии.

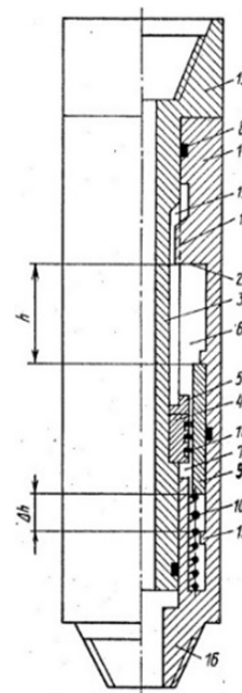


Рис. 2. Гидроударный механизм

### Анализ гидроимпульсного механизма

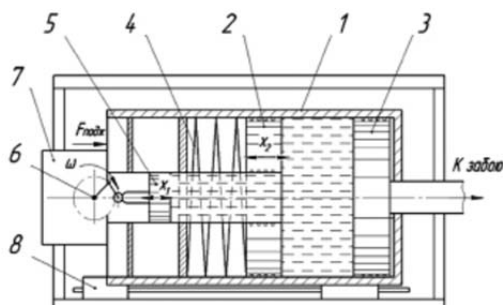


Рис. 3. Гидроимпульсный механизм

На блоке управления 7 задается сигнал управления, который формируется на приводе 6, после в движение приводится плунжер 5. В этот момент в системе происходит сжатие жидкости в гидроцилиндре 1, создаются импульсы давления жидкости, которые воздействуют на поршни 2, 3, а также стенки гидроцилиндра 1. Когда возникает резонанс, активная масса 2, поджатая пружиной 4 начинает возбуждаться, и импульс давления жидкости передается через поршень 3 [9] в забой.

Как можно видеть – данный механизм отличается простотой от других гидроимпульсных устройств. В механизме отсутствуют соударяющиеся части из чего следует высокая износостойкость деталей. Как уже было сказано ранее – использование высокоэнергетических упругих колебаний позволяет продлить период эксплуатации режущих инструментов, а также интенсифицировать процесс разрушения пород. Отсутствие ударных нагрузок так же позволит использовать алмазные долота и коронки, что так же увеличит производительность. Безбойковый гидроимпульсный механизм является довольно перспективной технологией для бурения, которая за счет своей конструкции имеет преимущество перед пневмоударными и гидроударными механизмами. Использование безбойкового гидроударного механизма при бурении скважин позволит удешевить и ускорить данный процесс.

### Список литературы

1. Литвиненко В.С., Кудряшов Б.Б. Современные проблемы разрушения пород при бурении скважин // Записки Горного института № 148 – С. 19.
2. Сидоренко А.К., Савельев М.С., Жуковский Ю.Э. Новый вибросиловой способ бурения горных пород // Горная электромеханика и автоматика. – 1965 г. – № 3. – С. 34–38.
3. Саруев Л.А., Казанцев А.А. // Разработка и исследование гидромеханической системы формирования силовых импульсов в ставе штанг для интенсификации вращательного бурения // Технология и техника геологоразведочных работ. – 2008г – с. 76
4. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Юровский П.Г, Пономарев А.В. // Гидроимпульсная сваебойная машина // RU 133 152 U1 E02D 7/10 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности // 2013 г.
5. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Юровский П.Г. // Повышение эффективности бурения шпуров применение безбойковой гидроимпульсной системы // Горный информационно-аналитический бюллетень // 2013 г.
6. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Юровский П.Г., Кузнецов И.В. // Силовой механизм сваебойной машины // Горный информационно-аналитический бюллетень // 2013 г.
7. Шевченко А.С., Кармазь П.А // Пневмоударный механизма // SU 1634481 A1 D 25 D 9/04 // Государственный комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР // 1977 г.
8. Ясов В.Г., Чарковский В.М. и др. // Гидравлический ударник // SU 1677253 A1 E21 B 31/113 // Государственный комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР // 1988 г.
9. Новосельцева М.В. // Гидроимпульсный механизм бурильных машин для алмазного бурения горных пород // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 6. – С. 72–76.

## РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рябов А.В.<sup>1</sup>, Филипас А.А.<sup>2</sup>, Тырышкин А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, ИШИТР, гр. 8Е02,

E-mail: avr36@tpu.ru

<sup>2</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., заведующий кафедрой – рук. отделения на правах кафедры

E-mail: filipas@tpu.ru

<sup>3</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент,

E-mail: tyryshkin@tpu.ru

### Введение

Люди зачастую испытывают трудности с переносом тяжелых вещей, таких, как багаж. Труднее всего приходится людям с ограниченными физическими возможностями, пожилым, женщинам и детям. Для решения этой проблемы можно использовать мобильную платформу, которая будет следовать за человеком и везти тяжелый багаж.

Багажный робот, должен отслеживать нахождение человека с помощью ультразвуковых датчиков и камер и двигаться за ним, перевозя багаж в требуемом направлении. Багаж помещается в отделение для багажа, которое находится сверху корпуса робота, и фиксируется в нем дверцей, которая открывается с помощью пластиковой карты по технологии «Radio Frequency Identification». Такой подход позволит избежать потерю багажа и проникновения в отсек посторонних лиц.

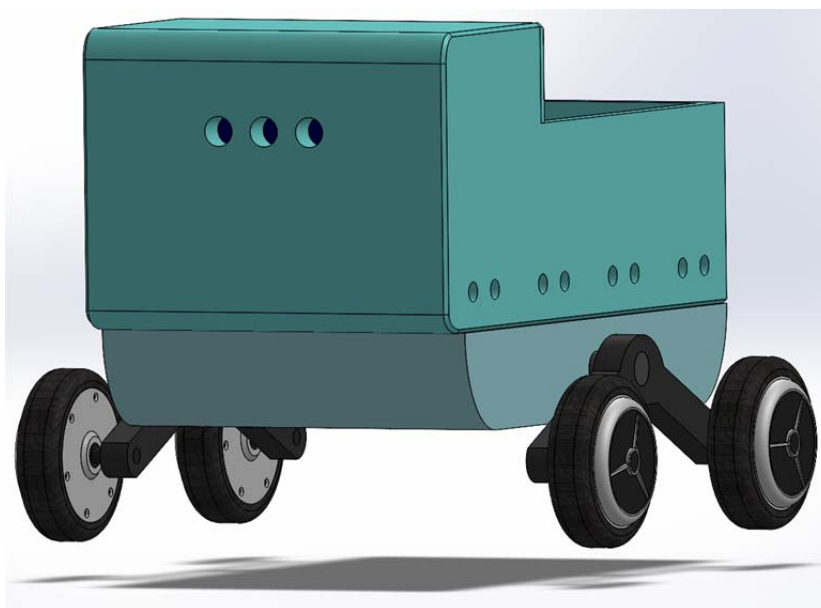


Рис. 1. 3D модель мобильной роботехнической платформы

### Расчёт

На первом этапе проектирования требуется определить приводы для мобильной роботехнической платформы. В качестве приводов для решения данной задачи используются мотор-колёса. По сравнению с другими типами двигателей мотор-колёса обладают большей энергоэффективностью и компактностью. Выбор мотор-колёса обусловлен такими параметрами, как: частота вращения ротора; момент, создаваемый колесом; мощность колеса.

При расчёте вращающего момента на мотор-колесе, требуется определить силу, необходимую для движения платформы с нагрузкой и преодоления силы трения качения. Трение качения – это сопротивление движению, возникающее при перекатывании тел друг по другу, т. е. сопротивление качению одного тела (катка) по поверхности другого, как правило, неподвижного (дорога, трос и пр.) [1].

Поиск формулы для определения силы трения качения был затруднён. В просмотренных учебниках по физике за разные периоды издания данная формула отсутствовала. В различных источниках информации данные отличались.

В итоге, в качестве источника информации была выбрана книга Ф.П. Боудена «Трение и смазка твёрдых тел», и формула была взята оттуда:

$$F_{\text{тр. к.}} = \mu_k \cdot \frac{N^2}{D},$$

где  $F_{\text{тр. к.}}$  – сила трения качения [Н];  $\mu_k$  – коэффициент трения качения [м];  $N$  – прижимающая сила [Н];  $D$  – диаметр колеса [м].

Следующая трудность возникла в поиске числового значения коэффициента трения качения для случая проекта. По проекту движения платформы должно осуществляться резиновыми колёсами с диаметром 124 миллиметра по линолеуму. Единственный найденный источник [3], на котором были числовые коэффициенты трения качения между некоторыми поверхностями, не содержал требуемого коэффициента. По мимо этого, значения коэффициентов лежали в некотором диапазоне. Отсюда можно понять, что значения коэффициентов между одинаковыми поверхностями могут отличаться от величин других параметров.

### Цель

Для решения данной проблемы было решено провести эксперимент, в ходе которого преследовались следующие цели:

1. Установить значение коэффициента трения качения между резиной и линолеумом для колеса диаметром 124 миллиметра.
2. Проверить гипотезу связи коэффициентов трения качения и скольжения по выражению:

$$\mu_k = \mu_{\text{ск}} \cdot D,$$

где  $\mu_k$  – коэффициент трения качения [м];  $\mu_{\text{ск}}$  – коэффициент трения скольжения [безразмерная величина];  $D$  – диаметр катка [м]

### Эксперимент

Для проведения эксперимента была собрана платформа, которая состояла из листа ДСП размерами 400×600 миллиметров и четырёх колёс диаметром 124 миллиметра, закреплённых к ДСП болтами М8. На платформе находились грузы величиной от 10 до 100 килограмм. Величина силы трения качения определялась с помощью динамометра, рассчитанного на максимальную нагрузку в 110 [Н]. На рис. 2 представлены элементы эксперимента.

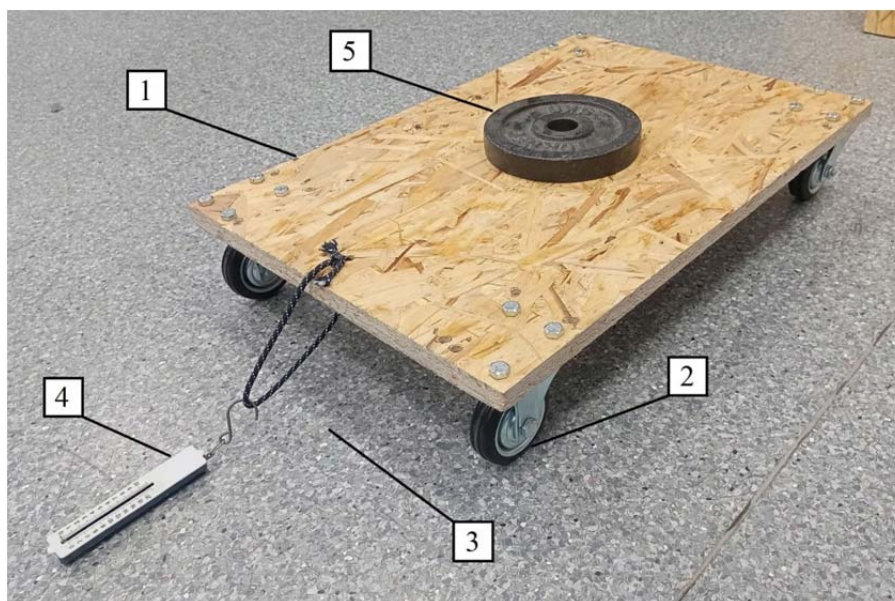


Рис. 2. Элементы эксперимента

На рисунке имеются следующие обозначения: 1 – платформа, основанием которой является лист ДСП; 2 – колесо с резиновым покрытием; 3 – поверхность (в данном случае линолеум); 4 – динамометр; 5 – нагрузка.

В ходе эксперимента определялась, как сила трения качения, так и сила трения скольжения. Для получения величины силы трения скольжения сила прикладывалась перпендикулярно ходу движения колёс. Поэтому вращения колёс не происходило и возникало скольжение платформы.

После измерения всех величин была сформирована табл. 1.

Таблица 1

Движение по линолеуму

Масса	Сила трения качения	Сила трения скольжения
10	8	96
15	11	106
20	16	
25	19	
30	21	
35	24	
40	28	
45	32	
50	34	
55	36	
60	42	
65	50	
70	44	
75	58	
80	54	
85	64	
90	66	
95	72	
100	76	

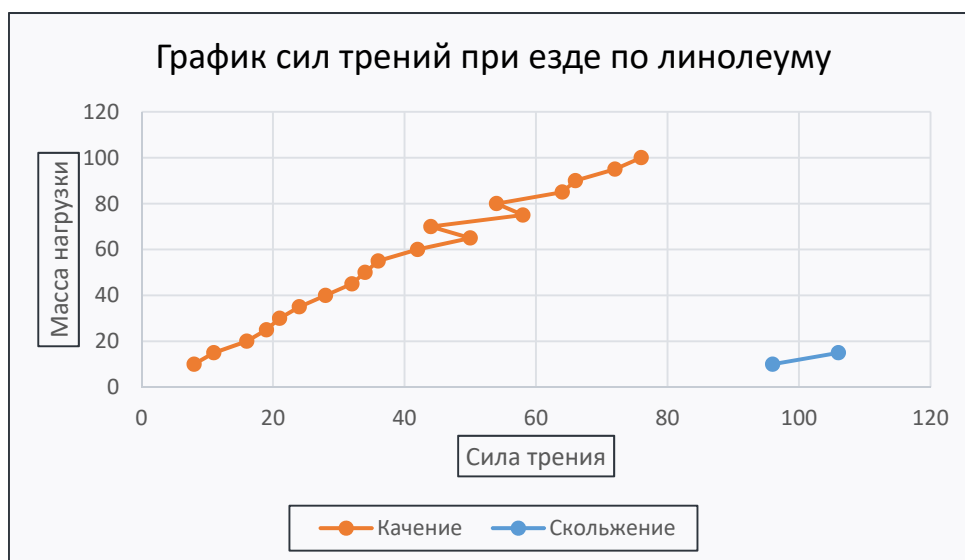


Рис. 3. Сила трения

оранжевая линия – сила трения качения; синяя линия – сила трения скольжения

Из формулы силы трения качения можно выразить коэффициент трения качения:

$$F_{\text{тр.к.}} = \mu_{\text{к}} \cdot \frac{N^3}{D} \quad \Rightarrow \quad \mu_{\text{к}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{N^3}$$

Прижимающая сила платформы при езде по ровной поверхности будет вычисляться, как сумма масс платформы и нагрузки, умноженная на ускорение свободного падения:

$$N = (m_{\text{п}} + m_{\text{н}}) \cdot g,$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса платформы [кг];  $m_{\text{н}}$  – масса нагрузки [кг];  $g$  – ускорение свободного падения [ $\text{м}/\text{с}^2$ ].

Платформа должна будет выдерживать нагрузку 100 килограммов, поэтому значение коэффициента трения качения равно:

$$\mu_{\text{к}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{N^{\frac{3}{2}}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{((m_{\text{п}} + m_{\text{н}}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}} = \frac{76 \cdot 124 \cdot 10^{-3}}{((3.8 + 100) \cdot 9.8)^{\frac{3}{2}}} \approx 0.00029 \text{ [м]}.$$

### Опровержение гипотезы

Попробуем получить выражение:  $\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot D$ . Для этого запишем формулу определения трения скольжения:

$$F_{\text{тр.ск.}} = \mu_{\text{ск}} \cdot N,$$

где  $\mu_{\text{ск}}$  – коэффициент трения скольжения [безразмерная величина];  $N$  – прижимающая сила [Н].

Возьмём равными силы трения скольжения и качения, тогда:

$$F_{\text{тр.ск.}} = F_{\text{тр.к.}} \Rightarrow \mu_{\text{ск}} \cdot (m_{\text{п}} + m_{\text{н}2}) \cdot g = \frac{\mu_{\text{к}} \cdot ((m_{\text{п}} + m_{\text{н}1}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}}{D},$$

где  $m_{\text{н}1}$  – масса нагрузки при скольжении [кг];  $m_{\text{н}2}$  – масса нагрузки при качении [кг].

Из таблицы 1 видно, что силы трений будут равны при различных массах нагрузки. При равных силах нагрузка при качении будет больше. По мимо этого прижимающая сила силы трения качения имеет степень 1.5. Поэтому множители прижимающих сил сократить не удастся. Отсюда следует вывод, что выражение:

$$\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot D$$

не является верным, а связь коэффициентов определяется не только диаметром, но и величинами прижимающих сил:

$$\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot \frac{(m_{\text{п}} + m_{\text{н}2}) \cdot g}{((m_{\text{п}} + m_{\text{н}1}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}} \cdot D.$$

### Заключение

Использование мобильных роботизированных платформ упростит жизнь человеку и ускорит развитие в сфере робототехники и информационных технологий. При проектировании платформы необходимо осуществить важнейший первоначальный этап – расчёт и рациональный подбор компонентов. Выполнение верных расчётов основывается на использовании актуальной информации и корректных законов физики. Полученный в ходе экспериментальной работы коэффициент трения качения позволит получить точные величины и соответственно определить наиболее подходящий по параметрам привод.

### Список литературы

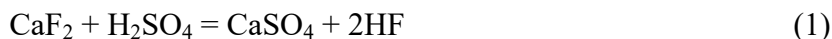
1. Трение качения / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Трение\\_качения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Трение_качения) (дата обращения: 01.11.2023).
2. Bowden F.P. Friction and lubrication of solids. [Текст] / Bowden F.P. – 1-е изд. – OXFORD: Clarendon PRESS, 1964 – 544 с.
3. Коэффициенты трения качения / [Электронный ресурс] // Инженерный справочник: [сайт]. – URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionOfRolling/> (дата обращения: 01.11.2023).
4. Савельев, И.В. Курс общей физики, том I. [Текст] / И.В. Савельев – 2-е изд. – Москва: Наука, 1991 – 517 с.
5. Feynman R.P., Layton R.B, Sands M.L. Feynman lectures on physics. Volume 1. [Текст] / Feynman R.P., Layton R.B, Sands M.L. – 1-е изд. – Reading, Massachusetts, Palo Alto, London: ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INCORPORATED, 1963 – 260 с.



## УСТАНОВКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВ СУХОЙ ШТУКАТУРКИ ИЗ АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Губа Э.А.<sup>1</sup>, студент гр. 0401 ОЯТЦ,  
Солодов Е.В.<sup>1</sup>, студент гр. 0401 ОЯТЦ,  
Рыбин А.С.<sup>1</sup>, аспирант ТПУ  
<sup>1</sup>НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: evs71@tpu.ru

В настоящее время в России существует проблема утилизации отходов фтороводородных производств, образующихся в атомной и химической промышленности по реакции 1.



Отходы представляют собой смесь безводного сульфата кальция, фторсульфонат кальция и избыточные остатки серной кислоты [1–3].

Целью данного исследования является разработка устройства для использования нейтрализованного техногенного фторангидрита, в качестве вяжущего при производстве листов сухой штукатурки ПАНО (Панели Ангидритовые Отделочные). Данная разработка позволит не только уменьшить количество выбрасываемых отходов в окружающую среду, но и обеспечить их утилизацию в строительную промышленность, т. е. превратить фтороводородное производство в практически безотходную технологию.

В лабораторных условиях была изготовлена установка, с помощью которой осуществляли процесс преобразования фторангидрита в листы ПАНО (рис. 1):

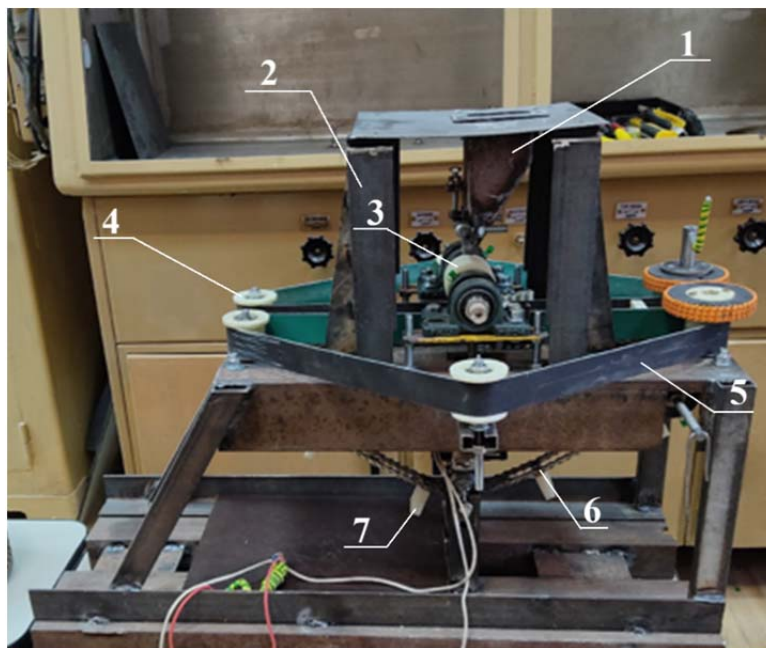
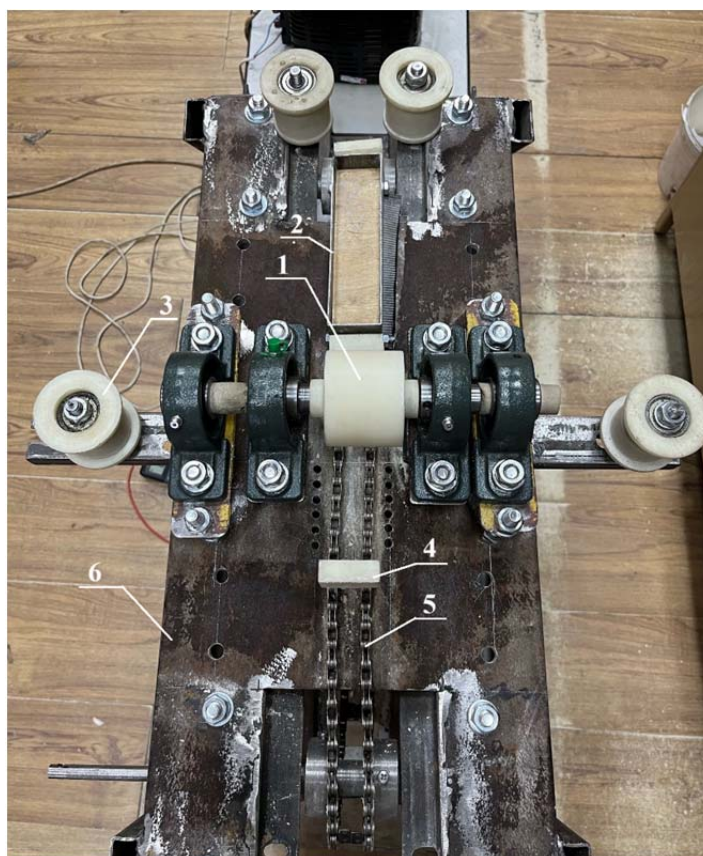


Рис. 1. Установка изготовления листов ПАНО:

- 1 – Бункер с ангидритовой смесью; 2 – Стойки бункера; 3 – Вибротрамбователь ангидритовой смеси;  
4 – Натяжной ролик ленты транспортной; 5 – Лента транспортная;  
6 – Транспортёр цепной; 7 – Полая разделительная ячейка

Ангидритовая смесь, содержащаяся в бункере (1), с помощью вибратора подается в ячейку. Цилиндрический вибротрамбователь (3) обеспечивает равномерное распределение смеси в ячейке и выравнивание внешней поверхности листа. С помощью цепного привода (4) и транспортной ленты (5) обеспечивается транспортировка ячейки. Избыток смеси в процессе трамбовки помещается в полые разделительные ячейки (7) и при нахождении в вертикальном положении после извлечения листа сбрасывается в отсек для дальнейшей отправки на повторное использование. На рис. 2 показана установка с ячейкой, содержащей 2 технологических поддона для обеспечения заданной высоты листа.





*Рис. 2. Установка изготовления листов ПАНО (с ячейкой):  
 1 – Вибротрамбователь; 2 – Ячейка; 3 – Натяжной ролик; 4 – Полая разделительная ячейка;  
 5 – Транспортер цепной; 6 – Корпус установки*

В установке присутствуют (виртуально) толкатели, обеспечивающие выталкивание сформованного листа из ячейки с дальнейшей его отправкой на склад полуфабрикатной продукции. Период набора максимальной прочности ангидритовых изделий составляет 28 суток.

С помощью данной лабораторной установки были проведены исследования технологических параметров получения листов ПАНО. Предел прочности на изгиб толщиной 10 мм и шириной листа 40 мм показал значение 0,215 МПа, эталонный образец листа сухой штукатурки ГВЛ фирмы «Кнауф» не превышал значение 0,18 МПа. Данные отображают эффективность использования ПАНО в качестве альтернативы ГВЛ.

### **Список литературы**

1. Федорчук Ю.М., Верещагин В.И., Шишмина Л.В. Оценка возможности применения твердых отходов фтороводородного производства Сибирского химического комбината в строительной промышленности / Журнал «Строительные материалы» – М. – № 4. – 2003.
2. Федорчук Ю.М. и др. Способ нейтрализации твердых отходов фтористоводородного производства. Авторское свидетельство №1570216 от 13.01.88.
3. Федорчук Ю.М., Трофимов Б.Н., Сухов И.Ю. Тураев Н.С., Маслова А.С., Груздева Г.А. Пути использования фторангидрита в строительстве, технология материалов на основе гипса и цемента. // Тр. Красноярского ПромстройНИИпроекта. – Красноярск. – 1989. – с. 41–47.
4. Федорчук Ю.М., Кудяков А.И., Недавний О.И., Федорчук В.А. Способ нейтрализации побочного продукта фтористоводородного производства. Патент РФ № 2207996 от 10.07.2003 г. с приоритетом от 26.06.2001 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСБАЛАНСА ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ С УЧЕТОМ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Стрыгин К.В.<sup>1</sup>, Ефременков Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «НПЦ «Полюс»», начальник лаборатории

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОмШ

В современном мире растет востребованность автоматизации процессов управления машин, что требует применения механизмов, к которым предъявляются такие требования как: высокая производительность, надежность, небольшие габариты. Для автоматизированных органов управления используют малогабаритные сервоприводы, включающие в себя редуктор, который должен быть компактным и обладать высокой нагрузочной способностью, малой инерционностью и высоким КПД.

Сегодня наименьшие габаритные размеры, высокое передаточное значение и высокий показатель момента на выходном валу имеет передача с промежуточными телами качения (ПТК) [1, 2]. Основной проблемой данных передач является наличие эксцентрикового звена, при вращении которого возникает дисбаланс, увеличивается нагрузка на опоры и, как следствие, уменьшается ресурс работы подшипников [3].

Сегодня встречаются работы по балансировке механизмов [4–7], в которых предлагаются методы уравнивания циклоидальных передач, основанные на поверхностном анализе и заключающиеся в упрощенном подходе к уравниванию механизмов, имеющих эксцентриковое звено.

Так как увеличение нагрузки на подшипниковые опоры является следствием возникновения дисбаланса в передаче, то присутствует необходимость в определении и исследовании дисбаланса в передачах с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО).

Дисбаланс в передаче с ПТКСО определяется на основе известной методики [8], где используется формула для определения главного вектора дисбаланса

$$D_{ст} = \sum(m_i \cdot \bar{r}_i) = m \cdot \bar{r}_s, \quad (1)$$

где  $m$  – масса эксцентрикового звена (или сумма элементарных масс), кг;  $\bar{r}_s$  – результирующий вектор расстояния от оси вращения до главной центральной оси инерции, мм.

Так как масса  $m$  в редукторе ПТКСО представлена суммой масс эксцентрикового сегмента вала, подшипников, кулачка и тел качения, то для упрощения расчета будет целесообразным преобразовать сумму данных масс в массу цилиндра с усредненной плотностью  $\rho$ , радиусом  $r$  и длиной  $l$ .

Для передачи с ПТКСО радиус вектор  $\bar{r}_s$  в выражении (1) является эксцентриситетом  $e$ , определяемый как отношение радиуса производящей окружности  $r_2$  к количеству тел качения  $Z_2$ . Радиус цилиндра  $r$  является радиусом центров окружности осей тел качения, который определяется как произведение радиуса производящей окружности  $r_2$  и коэффициента смещения  $\chi$  [2, 3].

Учитывая вышеописанное, уравнение (1) в зависимости от исходных параметров передачи с ПТКСО принимает следующий вид:

$$D_{ст} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot r_2^3 \cdot \chi^3 \cdot l}{Z}, \quad (2)$$

Для определения значений дисбаланса работоспособных передач с ПТК необходимо задать исходные параметры передачи и учитывать при расчете условия соседства тел качения [2, 3]:

$$r_{птк} > \frac{r_2}{Z} \quad (3)$$

и неналожения профилей:

$$r_{\text{ПТКСО}} < r_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{Z}\right). \quad (4)$$

Решая систему уравнений (2)-(4) можно определить дисбаланс в работоспособных передачах с ПТКСО:

$$\begin{cases} D_{\text{ст}} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot r_2^3 \cdot \chi^3 \cdot l}{Z} \\ r_{\text{ПТКСО}} > \frac{r_2}{Z} \\ r_{\text{ПТКСО}} < r_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{Z}\right) \end{cases}. \quad (5)$$

Таким образом, система уравнений (5) позволяет определять дисбаланс у передач с ПТКСО, а зависимость от исходных параметров задает рамки, что позволяет разработчику учитывать условия работоспособности передач с ПТКСО.

### Список литературы

1. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика / Э.Н. Панкратов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – 295 с.– Текст: непосредственный.
2. Ефременков Е.А. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой: Учебное пособие / Е.А. Ефременков, С.К. Ефременкова, Е.Н. Пашков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 90 с. – Текст: непосредственный.
3. Ефременков Е.А. Проектирование тяжело нагруженной циклоидальной передачи со свободной обоймой из условия контактной прочности / Е.А. Ефременков, С.К. Ефременкова. – Текст: непосредственный. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Томск, 2021. – Т. 332, № 11. – С. 182–188.
4. Junhua Bao Parametric Design and Efficiency Analysis of the Output-Pin-Wheel Cycloid Transmission / Junhua Bao Weidong He – Direct text. // International Journal of Control and Automation. – SERSC, 2015. – Vol. 8, № 8 – P. 349–362.
5. Лустенков М.Е. Конструкции сферических передач с промежуточными телами качения / М.Е. Лустенков, Е.С. Фитцова – Текст: непосредственный. // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2012. – № 4. – С. 61–64.
6. Киреев С.О. Планетарные передачи с внецентроидным внутренним цевочным зацеплением в машиностроении (обзор) / С.О. Киреев – Текст: непосредственный. // Вестник ДГТУ. – Ростов-на-Дону, 2011. – Т. 11, № 7(58). – С. 1051–1057.
7. Efremenkov E.A. Power Parameters Automated Calculation for Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Cage / E.A. Efremenkov, E. Bonnard – Direct text // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 795. – 6 p.
8. Корчагин П.А. Уравновешивание и виброзащита / П.А. Корчагин. – Омск: Издательство СибАДИ, 2006. – 76 с. – Текст: непосредственный.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАМЫ УСТАНОВКИ ПАЙКИ РОТОРОВ ТВЧ

Тюхтенев А.В., магистрант гр. 4АМ2Ф

Научный руководитель: Ефременков Е.А., к.т.н., доцент ОМ ИШНПТ ТПУ

НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

E-mail: avt72@tpu.ru

Роторы широко применяются в различных механизмах. Изготовление роторов является достаточно трудоемким процессом, поскольку соединение стержней с короткозамыкающими кольцами (сегментами) обычно выполняется пайкой твердыми припоями с помощью газосварочной горелки вручную. Из-за большого количества мест пайки и высокого коэффициента теплопроводности материала ротора при пайке быстро отводится тепло из зоны нагрева. Это особенно характерно для роторов с большой массой, из-за этого увеличивается время выполнения операции.

Проблему комплексного нагрева места пайки можно решить применением установки пайки роторов ТВЧ, которая позволит быстро и равномерно расплавлять припой по всему периметру ротора за одну операцию. При использовании такой установки ротор необходимо размещать вертикально. Для манипулирования ротором, особенно с большой массой, необходимо использовать кран-балку. Имеющиеся на рынке кран-балки не подходят по своей конфигурации для установки ТВЧ или являются недоступными в настоящее время. Таким образом возникает необходимость разработки кран-балки для оснащения установки пайки роторов ТВЧ. Основой кран-балки является ее рама, которая воспринимает основные нагрузки установки. Поэтому проектирование рамы установки пайки ротора ТВЧ является актуальной.

В целом установка пайки роторов ТВЧ является сложной конструкцией (рис. 1) и включает следующие узлы:

1. Рама.
2. Установка индукционного нагрева.
3. Лифт вертикального перемещения установки индукционного нагрева.
4. Ложемент для укладки и сборки роторов.
5. Нижний центр, с возможностью свободного вращения.
6. Тельфер.
7. Консольно-поворотная кран-балка.
8. Каретка вертикального перемещения верхнего центра с возможностью свободного вращения.
9. Рабочее положение ротора.

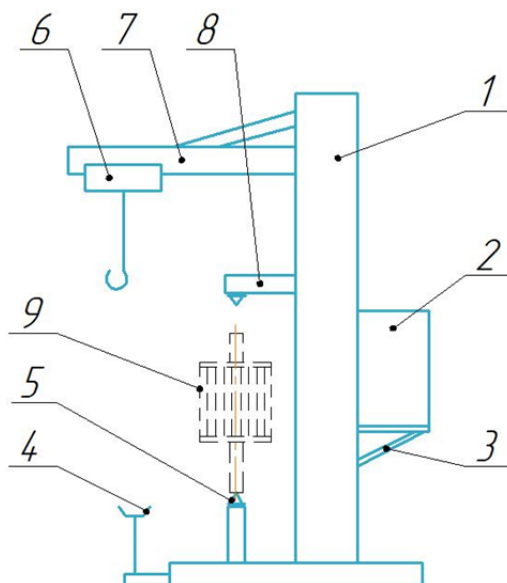


Рис. 2. Схема установки ТВЧ пайки роторов

Как уже было сказано основой установки является рама, конструкция которой включает следующие основные части (рис. 2): основание, башня, пластины крепления кран-балки, нижняя опора. Так же при составлении схемы рамы следует взять во внимание тельфер, кран-балку и ротор. Рама установки будет выполнена как сварная конструкция из различных прокатов и профилей с маркой стали Ст3пс [1].

Основание рамы изготовим из балки двутаврового профиля 20К1 [2], размеры которой подбираются из условия ее транспортабельности. Поскольку установку планируется перемещать автотранспортом, то длину основания примем 2400 мм исходя из ширины грузового автомобиля. Высоту башни примем 4480 мм, поскольку она ограничена производственным помещением. Башня будет представлять собой пространственную конструкцию, состоящую из двух параллельных плоских ферм. Передний пояс фермы выполним из профильной трубы 140×140×5 мм [3], а задний пояс из профильной трубы 100×100×5 мм. Тип решетки фермы примем треугольной, раскосы которой будут выполнены из профильной трубы 40×40×3 мм с углом 45°. Пластины крепления кран-балки выполним из листового проката толщиной 20 мм [4]. Верхнюю пластину расположим заподлицо с торцом башни, а нижнюю пластину на расстоянии 790 мм от нее. Данный размер подобран, учитывая характеристики выбранного тельфера марки Сибталь CD1 2т [5]. Высоту нижней опоры примем 600 мм, исходя из комфортабельности при работе на данной установке. Длину консольной балки примем 2300 мм.

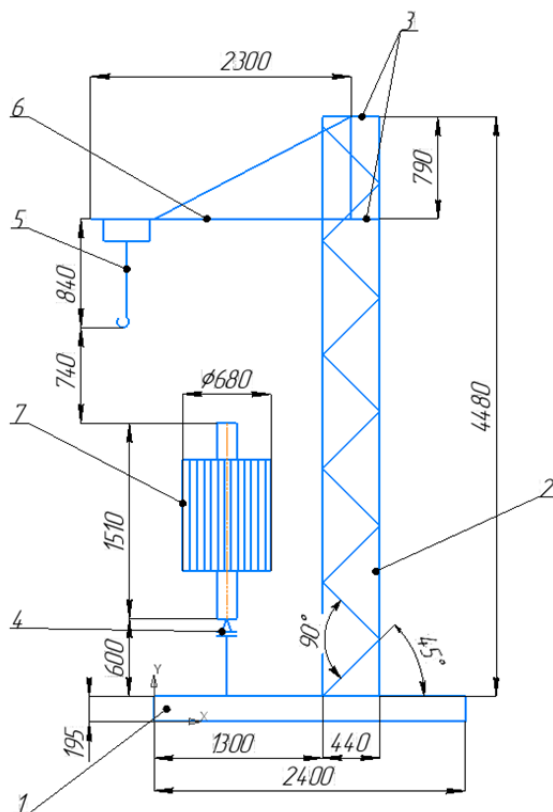


Рис. 2. Схема рамы установки:

1 – основание рамы; 2 – башня; 3 – пластины крепления кран-балки; 4 – нижняя опора;  
5 – тельфер; 6 – кран-балка; 7 – ротор

Далее сделаем модель рамы в программе SolidWorks 3D и выполним прочностной расчет в SolidWorks Simulation (рис. 3, 4) (Моделирование и расчеты проводились на лицензионной версии программы). Применим к модели материал конструкции Ст3, принятый ранее с пределом текучести 225 МПа и пределом упругости 210 МПа. Фиксируем модель за нижнюю часть основания.

В данной работе проведем прочностной расчет только для башенной конструкции, приложив к ней нагрузки через консольную кран-балку 20 000Н и через лифт 2 000Н, ис-



ходя из максимальной массы ротора и общей массы лифта с установкой индукционного нагрева. Для этого используем функцию дистанционной нагрузки, которую приложим к местам крепления кран-балки и лифта, а именно к резьбовым отверстиям пластины крепления кран-балки и к круглым направляющим лифта соответственно. Также в расчете учтем силу тяжести, действующую на раму.

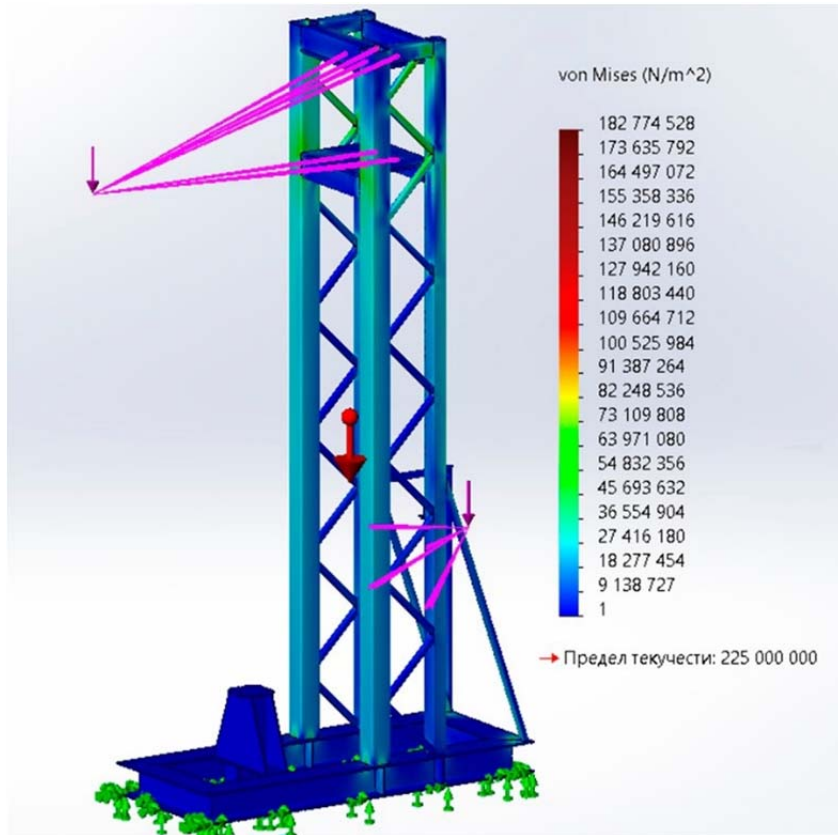


Рис. 3. Распределение напряжений в рамной конструкции

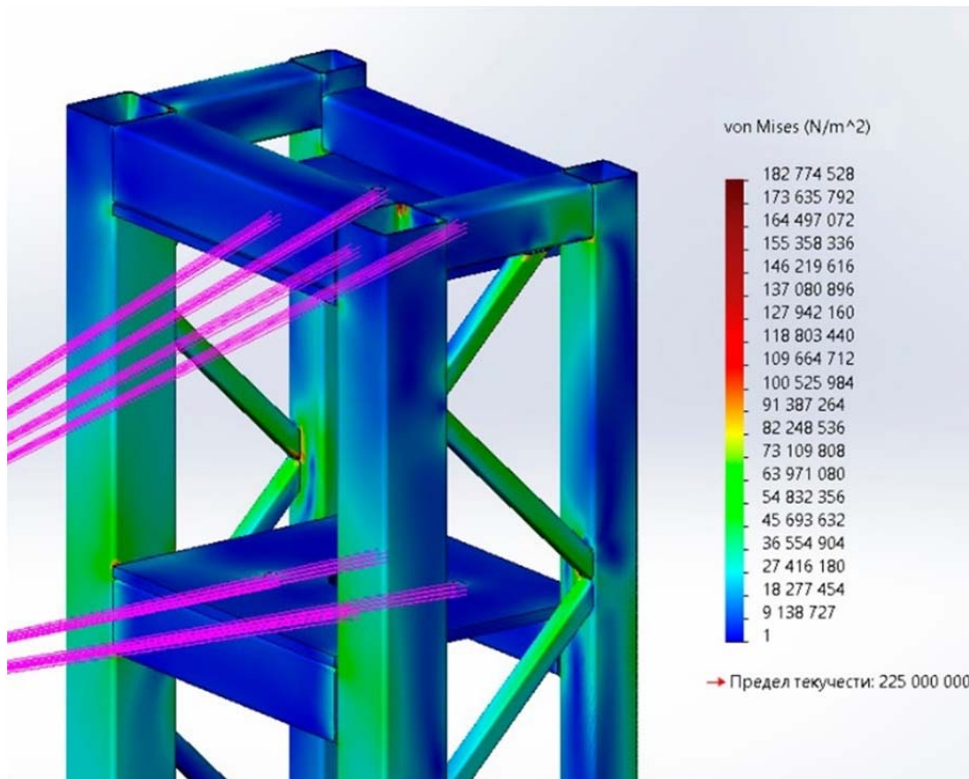


Рис. 5. Наиболее нагруженные места башины

По итогу расчетов мы получили модель распределения напряжений в рамной конструкции, показывающую что наиболее нагруженным местом является верхняя часть башни, в области пластин крепления кран-балки. Однако значение максимального напряжения 183 Мпа не превышает предела упругости. Таким образом спроектирована рама для установки пайки роторов ТВЧ и проведен анализ распределения нагрузок, свидетельствующий о работоспособности данной конструкции.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 535-2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. Дата введения в действие: 01.07.2008. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/51/51468/> (Дата обращения 10.11.2023). – Текст: Электронный.
2. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок Технические условия. Дата введения в действие: 01.05.2018. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742360.pdf> (Дата обращения 10.11.2023). – Текст: Электронный.
3. ГОСТ 32931-2015. Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия. Дата введения в действие: 01.09.2016. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293757/4293757104.pdf> (Дата обращения 10.11.2023). – Текст: Электронный.
4. ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. Дата введения в действие: 01.09.2016. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293755/4293755668.htm> (Дата обращения 10.11.2023). – Текст: Электронный.
5. Таль электрическая канатная СибТаль 2Т 6М URL: [https://grmeh.ru/cat/tali\\_jelektricheskie\\_telezhki/tali\\_jelektricheskie/kanatnaya-cd1/tal\\_elektricheskaya\\_kanatnaya\\_cd1\\_2t%2A18m](https://grmeh.ru/cat/tali_jelektricheskie_telezhki/tali_jelektricheskie/kanatnaya-cd1/tal_elektricheskaya_kanatnaya_cd1_2t%2A18m) (Дата обращения 14.11.2023). – Текст: Электронный.

## ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ В САЕ-СИСТЕМАХ

*Шикотько Д.А.*  
*НИ ТПУ, ИШЭ, группа 5АМ35*  
E-mail: das93@tpu.ru

САЕ (от англ. computer-aided engineered – автоматизированное проектирование) – программная среда, позволяющая проводить компьютерное моделирование различных объектов, тем самым отойдя от классических способов испытания. Сегодня САЕ-системы повсеместно используются с САД-системами.

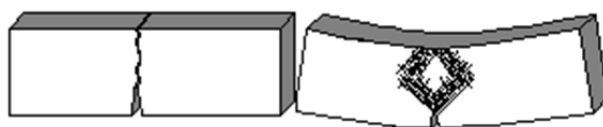
При работе в программах данного типа в первую очередь необходимо создать 3D объект – компьютерную версию реального объекта, над которым планируется вести расчет. В дальнейшем происходит задание параметров объекта, после чего возможно применение нагрузок разного типа (сжатие, растяжение, давление и т. д.).

Расчетная часть большинства САЕ-программ основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объемов и др.).

Напряженное состояние нагруженных деталей неоднородно. В отдельных областях присутствуют концентраторы напряжения, которое в свою очередь может в несколько раз превышать номинальные значения.

Считается, что наличие высоких напряжений в концентраторах не влияет на статическую прочность, но оказывает существенное влияние на долговечность конструкции. В местах локальных концентраций напряжений возможно появление участков с нарушением сплошности, характеризующихся наличием микротрещин. Детали машиностроительных и строительных конструкций с дефектами сплошности в концентраторах напряжения допускаются к эксплуатации, однако максимально точно спрогнозировать границы допустимых силовых воздействий можно лишь при правильном моделировании протекающих в концентраторах процессах.

Трещиностойкость – способность материала (конструкции) с трещинами сопротивляться внешнему нагружению. Разрушение трещин бывает двух видов: статическое (возникающее при постоянной внешней нагрузке), и усталостное (возникающее при временной внешней нагрузке). В то же время в зависимости от типа разрушаемой поверхности отличается и вид разрушения, происходящий в материале: хрупкое или вязкое (рис. 1). Чаще всего главным источником усталостных трещин являются дефекты в зонах растягивающих напряжений.



*Рис. 1. Разрушение поверхности: слева – хрупкое разрушение; справа – вязкое разрушение*

Вязкость разрушения связана с показателями прочности материала: увеличение прочности сопровождается снижением пластичности и вязкости разрушения. Материалы средней и низкой прочности при температуре окружающей среды равной комнатной, чаще всего имеют более высокое значение пластичности, но при снижении температуры, прочность таких материалов растет и при определенных условиях поведение материала становится идентичным высокопрочному при комнатной температуре.

В САЕ-программах прочностного анализа доступны инструменты для моделирования и последующего расчета параметров трещиностойкости материала, обладающего линейными, кусочно-линейными и нелинейными механическими характеристиками.

Чрезмерное нагружение детали приводит к снижению её прочности и переходу конструкции в предельное состояние. Усталостный расчет проводится для допустимого числа



циклов нагружения. Внешняя нагрузка может иметь гармонический, точечный или случайный характер.

В основе выполнения расчета на трещиностойкость лежит метод оценки напряженно-деформированного состояния трещины и области вокруг нее. Расчет в данном случае строится на методе конечных элементов. Конечно-элементный анализ может выполняться и для отдельного конечного элемента, где оценивается его нагрузочная способность. Если элемент утратил способность к восприятию нагрузки, это учитывается при определении нагрузочной способности объекта в целом.

Для расчета трещиностойкости конструкции, находящейся в непосредственной эксплуатации существует возможность встраивания трещины в существующую 3D модель объекта, что позволяет определить ряд статических и усталостных параметров.

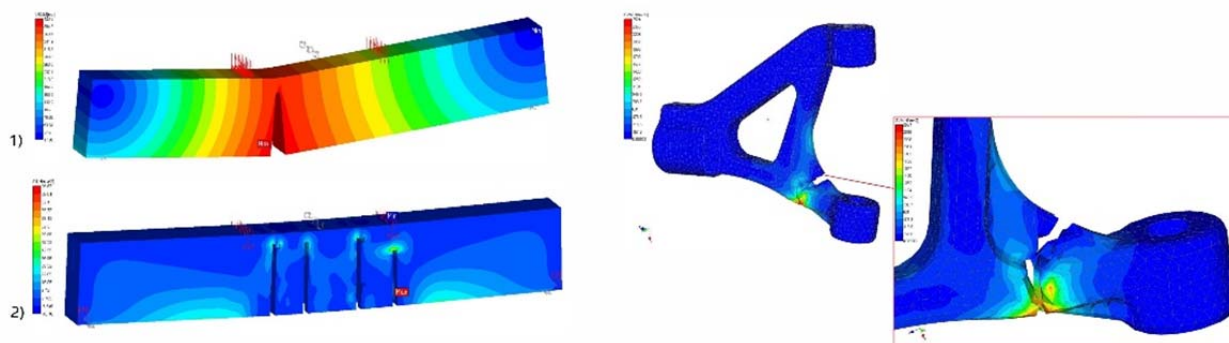


Рис. 2. Расчёт трещиностойкости в системах САЕ

Применение программ компьютерного моделирования при расчете детали на трещиностойкость позволяет производителю существенно снизить временные и денежные ресурсы на разработку, а также произвести наиболее точный прочностной расчет выпускаемого изделия.

### Список литературы

1. Мешихин А.А., Моделирование деталей в CAD/CAM/CAE-системе Siemens NX: учебно-методическое пособие / А.А. Мешихин, П.Ю. Павлов, О.В. Железнов. – Ульяновск: УлГУ, 2020. – 80 с.
2. Звонцов, И.Ф. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ / И.Ф. Звонцов, К.М. Иванов, П.П. Серебrenицкий. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 588 с.
3. Абросимов, С.Н. Основы компьютерной графики САПР изделий машиностроения (MCAD): учебное пособие / С.Н. Абросимов. – Санкт-Петербург: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2014. – 206 с.
4. Ресурсы удаленного доступа.
5. Механика разрушений. Трещиностойкость конструкций – URL: <https://apm.ru/fracture-mechanics> (дата обращения: 19.11.2023).

## ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ МОТОРОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Алексин А.В.<sup>1</sup>, Проскоков А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, группа 10А11,  
E-mail: alignasir@gmail.com*

<sup>2</sup>*Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, к.т.н., доцент,  
E-mail: proskokov@tpu.ru*

Эволюция совершенствования технологий, переход на цифровые системы и роботизация всех сфер человеческой деятельности оказывают влияние на уровень востребованности новых машин, на варианты ее применения без участия человека. Одним из стратегически важных и быстроразвивающихся в РФ направлений является отрасль малой беспилотной авиации. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) совершенствуются как в плане развития систем управления, так и в создании новых электросиловых установок, обеспечивающих движение летательного аппарата. С развитием компактной микроконтроллерной электроники появилась возможность применения бесколлекторных моторов, как представителя высокоэффективного устройства с возможностью мгновенной регулировки скорости вращения ротора.

С целью дальнейшего совершенствования технических характеристик бесколлекторных двигателей (BLDC – Brushless DC electric motor) и проработки возможной технологии их изготовления в условиях лаборатории металлорежущих станков ЮТИ ТПУ была поставлена задача изучения особенностей конструкции и систематизации типоразмеров.

С учетом проведенного анализа различных конструкций были сделаны следующие выводы: при конструировании архитектура BLDC моторов является важной составляющей их конструирования. Они состоят из статора и ротора, причем в статоре находятся обмотки, а в роторе – постоянные магниты. Правильный выбор материалов и оптимизированный дизайн обмоток и магнитов позволит достичь высокой эффективности работы мотора.

Эффективность и мощность являются ключевыми характеристиками бесколлекторных моторов для БПЛА. При конструировании моторов необходимо учесть требуемую мощность и как можно более компактный размер для обеспечения оптимальной производительности и веса самого БПЛА. Это может быть достигнуто через оптимизацию материалов, геометрии и конфигурации компонентов мотора.

Следующий важный аспект – теплоотвод. При работе на высоких скоростях и нагрузках мотор может нагреваться, что может вызвать проблемы с его работоспособностью. Поэтому особое внимание необходимо уделить разработке эффективной системы теплоотвода, например, используя радиаторы или вентиляторы. Это позволит увеличить надежность работы мотора и продлить его срок службы.

Бесколлекторные моторы требуют настройку электронной системы управления, которая позволяет точно регулировать скорость вращения ротора. Поэтому необходимо разработать эффективную и надежную электронику управления, которая способна обеспечить стабильную и точную работу мотора.

Ресурс работы БПЛА должен определяться высокой степенью надежности и долговечности двигателей, так как именно они являются важными составляющими компонентами, влияющими на безопасность и эффективность полета БПЛА. При конструировании моторов необходимо учесть различные факторы, которые могут влиять на их надежность, такие как выбор качественных компонентов, правильная система охлаждения и учет факторов, вызывающих износ или поломку.

С целью определения технологических характеристик процесса сборки моторов был приобретен неисправный BLDC мотор производства Китай. Типоразмер А12 (VC1290). Мотор был разобран и протестирован на наличие неисправностей. Установлено, что в нем нарушена целостность обмотки и повышенное биение подшипников качения. Поэтому была произведена перемотка двигателя и заменены два подшипника на новые.

Основным геометрическим параметром для конструирования является статор, который имеет размеры наружного диаметра и толщину на данной модели размеры статора составляют 83×12 мм. Также важным параметром будет количество пазов для намотки обмоточного провода. Количество пазов всегда меньше на единицу числа установленных на статор магнитов. На данной модели число магнитов равно 40 размером 5×2×13 мм. Для трехфазного двигателя количество катушек для намотки должно быть кратно трем и равно 36.

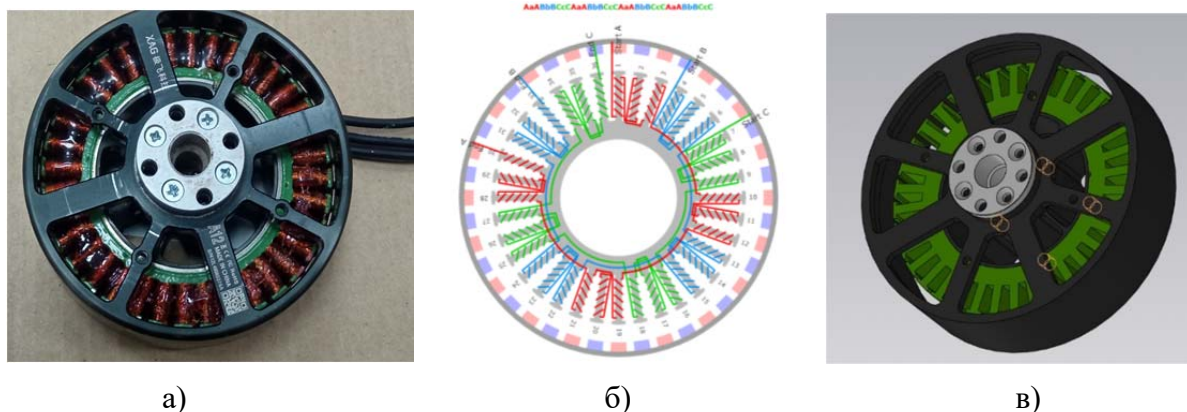


Рис. 1. Мотор серии A12:

а) Общий вид восстановленного мотора; б) схема намотки для трехфазного двигателя; в) 3D модель

По заявленным характеристикам данный двигатель работает на напряжении 50,4 Вольта и должен обеспечить максимальную мощность до 2,5 кВт. Следовательно ток в цепи может соответствовать до 50 А. На одну обмотку максимальный ток будет соответствовать трети от общей нагрузки 16,6 А. Для удобства намотки катушек и обеспечения плотности и равномерности заполнения пространства между зубьями статора общее сечение провода разбивают на несколько изолированных жил эмалированного провода. На данном моторе количество ниток равно 9, диаметр одной нитки провода составил 0,2 мм. Общая площадь поперечного сечения провода обмотки статора составила  $S = 0,283 \text{ мм}^2$ . С учетом измеренных характеристик общая длина провода на одну фазу с учетом подключения обмоток по схеме «Звезда» и сечением одного зуба статора составила  $l = 4048 \text{ мм}$ .

Определим общее сопротивление для восстановленного двигателя, которое должно быть на обмотке статора по формуле [1]:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 4.048}{0.283} = 0,25 \text{ Ом},$$

где  $\rho = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$  – удельное сопротивление медного проводника;

После намотки обмоток на статор двигателя, катушки были пропитаны эпоксидной смолой. После затвердевания слоя клея произведена сборка и мотор был подвергнут испытаниям под нагрузкой.

С целью разработки технологии изготовления подобных двигателей в системе Компас 21 на данный мотор была подготовлена 3D модель, состоящая из всех деталей электродвигателя. Были подготовлены чертежи, которые отработали на технологичность изготовления.

В результате проведенной работы сделаны выводы, что наибольшую технологическую сложность в изготовлении имеет статор, который состоит из специальной электротехнической стали, а технологический процесс включает наличие специальной штамповой оснастки. Все остальные детали будут включать в себя традиционные способы механической обработки на металлорежущем оборудовании.

При наличии готового статора возможно проектирование оборудования для автоматизации намотки катушек и также возможна сборка роторов.

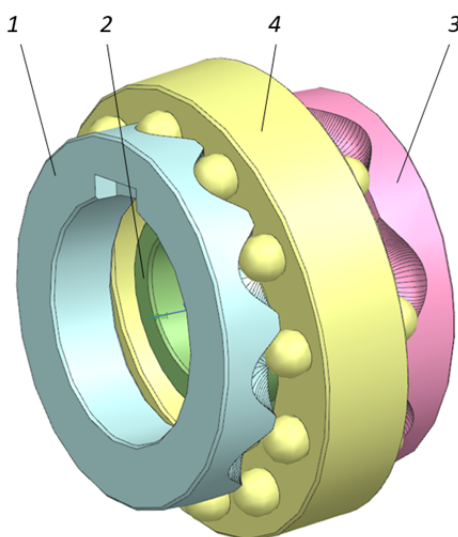
### Список литературы

1. Управление синхронными машинами с постоянными магнитами: учебное пособие / Р.С. Гаврилов, Ю.Н. Мустафаев; Балт. гос. техн. ун-т.– СПб., 2019 – 78 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИПЛИКАТОРНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

*Лустенкова Е.С., старший преподаватель  
Белорусско-Российский университет,  
212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр.Мира, 43  
тел. (+375 222)-713-709  
E-mail: fittsova@gmail.com*

В работе исследовалась возможность применения сферической роликовой передачи (СРП) в качестве мультипликаторной ступени привода ветрогенератора. Упрощенная компьютерная модель СРП показана на рис. 1. При вращении ведущего кулачка 1, соединенного с лопастями ротора, сателлит 4 совершает сферическое движение. Он установлен на косой втулке ведомого вала с кулачком 2. Сателлит содержит два ряда роликов, установленных на его торцах с возможностью вращения относительно собственных осей. Отличительной особенностью данной передачи является то, что ролики имеют сферические рабочие торцы, а их оси параллельны оси сателлита. Ролики одного ряда обкатываются по рабочим поверхностям ведущего кулачка, ролики другого ряда контактируют с рабочими поверхностями неподвижного кулачка. Сферическое движение сателлита вынуждает ведомый вал вращаться с увеличенной скоростью.



*Рис. 1. Мультипликаторный механизм на основе сферической роликовой передачи:  
1 – ведущий кулачок; 2 – ведомый кулачок; 3 – остановленный кулачок; 4 – сателлит*

Числа периодов (волн) беговых дорожек, изготовленных на рабочих поверхностях кулачков:  $Z_3 = 7$ ,  $Z_2 = 11$ . Число роликов, контактирующих с соответствующей беговой дорожкой, на единицу больше. Передаточное отношение (коэффициент мультипликации), определяемое, как и у планетарных передач с двухвенцовым сателлитом [2], составило  $u = 22$ .

Целью проведения виртуальных испытаний в системе Siemens NX являлось определение рациональных параметров СРП, обеспечивающих максимальный КПД. Беговые дорожки на кулачках моделировались с учетом технологических особенностей их изготовления на трехкоординатном станке с ЧПУ: ось сферической фрезы при перемещении параллельна оси заготовки [3].

В модели было установлено три вращательных шарнира: вращение ведущего вала относительно стойки, вращение ведомого вала относительно стойки, вращение сателлита относительно наклоненной наружной поверхности ведомого вала; один фиксирующий шарнир для остановленного кулачка; два 3D-контакта между сателлитом (роликами) и двумя кулачками. При этом параметры контактов были установлены по умолчанию (ко-

эфициент жесткости 10000 Н/мм, коэффициент демпфирования 10 Н·с/мм, экспонента силы 2, глубина взаимопроникновения 0,01 мм), кроме коэффициентов трения: динамический коэффициент трения 0,02 (статический – 0,03). Для упрощения модели ролики проектировались неподвижными, как сферические выступы, возможность их вращения учитывалась коэффициентами трения. Момент на ведомом валу относительно оси вращения был установлен равным  $T_2 = 1$  Н·м. В шарнире ведущего кулачка был определен драйвер вращения, благодаря которому угловая скорость ведущего вала была постоянна и равна  $\omega_1 = 2 \cdot \pi / i$  рад/с.

Полученное в результате работы модуля программы Motion Simulation изменение угловой скорости на ведомом валу в течение 1 с показано на рис. 2, а.

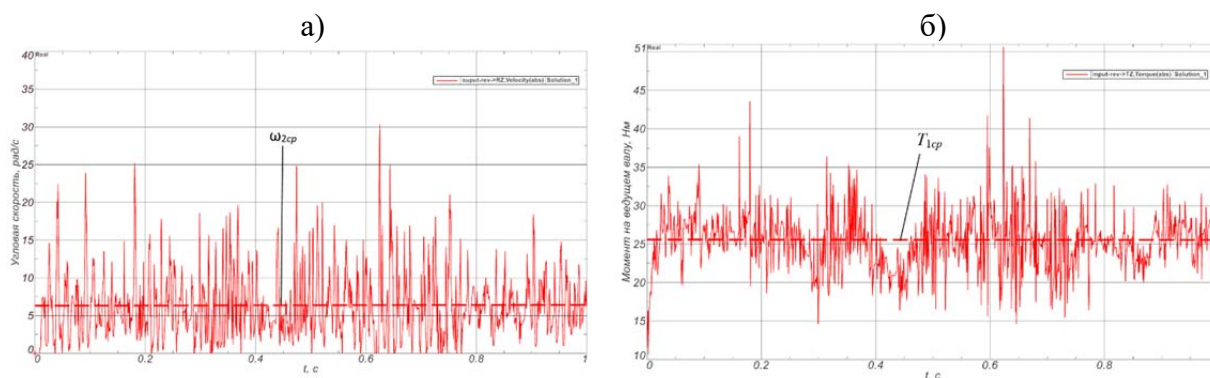


Рис. 2. Результаты испытаний СРП:

- а) изменение угловой скорости ведомого вала мультипликатора;  
 б) изменение момента на ведущем валу

Среднее теоретическое значение, равное  $\omega_{2cp} = 2 \pi$  рад/с, подтверждено, однако заметна нестабильность процесса. Средняя величина амплитуды колебаний может рассматриваться при сравнительном анализе различных конструкций передачи при одинаковых заданных параметрах 3D-контакта, т. к. существенно зависит от них.

Момент на ведущем валу мультипликатора, необходимый для обеспечения постоянного момента на ведомом валу, показан на рис. 2, б. Среднее значение составило  $T_{1cp} = 25,5$  Н·м, что соответствует среднему КПД 0,86.

В результате исследований установлены следующие основные параметры СРП: при радиусе сферической поверхности расположения центров масс сферических участков роликов  $R_n = 30,75$  мм, амплитуда беговых дорожек обоих кулачков  $A = 3,5$  мм, расстояние от плоскости расположения центров масс сферических участков роликов до экваториальной (средней) плоскости сателлита, перпендикулярной его оси  $L_k = 10$  мм.

### Список литературы:

1. Efremkov E.A., Bonnard E. Power Parameters Automated Calculation for Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Cage // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 795. – 6 p.
2. Лустенков М.Е., Моисеенко А.Н. Геометрический анализ и теоретическая оценка КПД плоскоконического зацепления сферической роликовой передачи // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 6 (18). – С. 32–42.
3. Lustenkov M.E., Moiseenko A.N. Analysis of contact strength of spherical roller transmission with double-row pinion // IOP Conf. Series: International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies. – 2021. – Vol. 1118. – 6 p.



## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОЛЕС СФЕРИЧЕСКОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Сасковец К.В., инженер  
Моисеенко А.Н., аспирант  
Лустенкова Е.С., ст. преподаватель  
Белорусско-Российский университет,  
212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр.Мира, 43  
тел. (+375 222)-713-709  
E-mail: fittsova@gmail.com

В задачи исследования входила разработка технологии изготовления зубьев плоских колес, используемых в плоскоконическом зацеплении сферических роликовых передач (СРП) [1]. СРП относятся к сферическому типу передач с промежуточными телами качения [2], в которых сателлит совершает сферическое движение (регулярную прецессию), а два ряда роликов, установленных на нем, обкатываются по зубьям двух центральных колес – неподвижного и ведомого.

Удаление основной части металла целесообразнее производить на трехосевом обрабатывающем центре с припуском под шлифование с применением сферических фрез, а заключительный этап обработки (шлифование) производить на промышленном роботе.

Для формообразования профиля замкнутая кривая образующая будет выступать в роли направляющей траектории центра рабочей части фрезы, ось инструмента будет направлена вдоль оси  $z$  (рис. 1). Для получения траектории движения инструмента между кривыми требуется провести образующие с равным шагом. Для станка также будет выбрана сферическая система координат, но в данном случае вместо поворота стола, инструмент будет двигаться, используя два угла  $\theta(f)$  и  $\varphi(f)$ , и вдоль радиус-вектора  $r(f)$  на расстояние  $C$ . Точкой привязки инструмента в данном случае будет центр сферы, где расположена траектория.

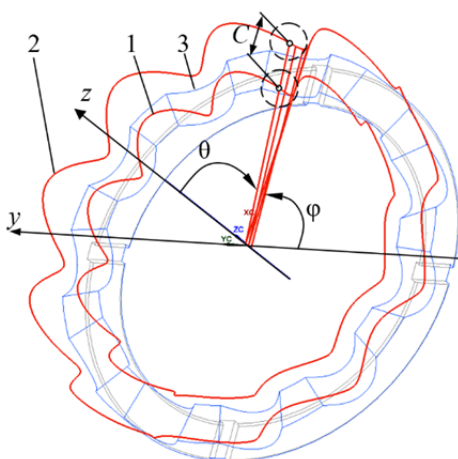


Рис. 1. Схема расположения осей и направляющих траекторий:  
1, 2 – начальная и конечная траектории фрезы; 3 – кулачковый профиль

Для получения траектории инструмента требуется к образующей в каждую из сторон прибавить радиус инструмента. Начальный и конечный радиус-векторы, определяющие траектории:

$$r_{Тн} = r(f) - C - r_{\phi}; \quad r_{Тк} = r(f) + r_{\phi}.$$

где  $C$  – длина образующей профиля;  $r(f)$  – длина радиус-вектора;  $r_{\phi}$  – радиус фрезы.

Величина перекрытия  $\Delta_{II}$ , образованного профилем инструмента, не должна превышать величину шага  $\Delta_{III}$  (рис. 2).

$$\Delta_{III} = \sqrt{(x(\varphi_{n+1}) - x(\varphi_n))^2 + (y(\varphi_{n+1}) - y(\varphi_n))^2 + (z(\varphi_{n+1}) - z(\varphi_n))^2}.$$

Так как режущая часть инструмента радиусная, то между двумя проходами профиль инструмента образует выступ. Параметр  $\Delta_{II}$  (шаг образующей) также будет характеризовать точность получаемой поверхности.

$$\Delta_{II} = r_{\phi} - \sqrt{r_{\phi}^2 - \left(\frac{\Delta_{III}}{2}\right)^2}.$$

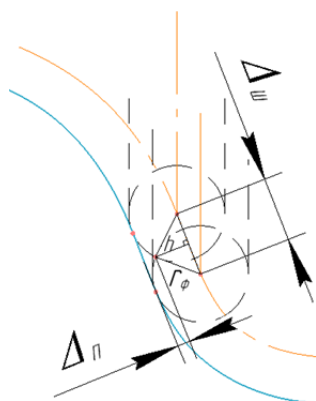


Рис. 2. Схема обработки профиля

В конце движения по траектории требуется добавить выход по радиусу, чтобы убрать заусенцы на краях детали (рис. 3).

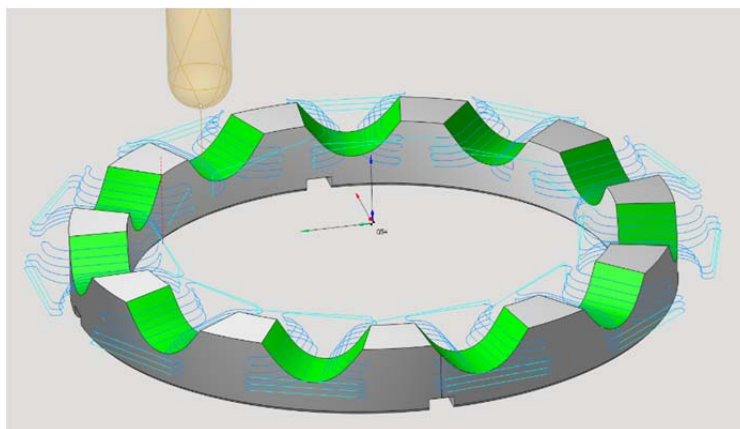


Рис. 3. Траектория движения инструмента

Движения сферической фрезы дублируются  $N$  раз, равных числу впадин (зубьев) кулачкового профиля [3].

#### Список литературы:

1. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 90 с.: ил.
2. Lustenkov, M.E. Analysis of contact strength of spherical roller transmission with double-row pinion / M.E. Lustenkov, A.N. Moiseenko // IOP Conf. Series: International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020). – 2021. – Vol. 1118 (2021) 012006. – 6 p.
3. Лустенков, М.Е. Расчет геометрии адаптированного профиля эллипсной шариковой передачи // Технология машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 36–38.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Казак А.К., студент группы 4НМ31,  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел. (3822) 701-777  
E-mail: kazakplay25@mail.ru*

Всё станочное оборудование является очень сложными механизмами, которые требуют полного внимания разработчика над деталями, узлами, подбором материалов для деталей, расчетами для проектирования той или иной машины. После того как все пункты выполнены все равно остается вопрос о том, как механизм будет работать, все ли механические нагрузки он выдержит, воздействие окружающей среды и др. В данном случае помогает компьютерное моделирование, которое позволяет увидеть, как будет выглядеть машина и провести анализ, задавая различные нагрузки и разные условия, и сделать выводы о том, что нужно изменить, улучшить или даже упростить для стабильной работы станка.

Существует большое количество программ для проведения статических, термических анализов. Наиболее известные программы, такие как SolidWorks, КОМПАС-3D, ANSYS, T-FLEX, пользуются большим спросом у производителей, так как имеют большие базы для проведения анализов различных узлов машин. Так же данные среды для моделирования позволяют определить необходимость в создании дополнительных опор деталей (упоры, столы и др.), которые могут обеспечить безопасность пользователей, повысить ресурс оборудования и др. Вышеперечисленные программы избавляют от лишнего труда рабочих при изготовлении узлов, которые могут избавить предприятия от огромных затрат на ресурсы того, что не будет работать и неудачные образцы.

Любая из вышеперечисленных программ позволяет твердотельную 3D-модель согласно чертежу и сборку по созданным моделям. Можно задать воздействие и нагрузка как на отдельную деталь, так и на целую сборку. Помимо простых деталей, типа, шпонка, болт и т. д., можно создать сборку привода, двигателя, станка в полной сборке вместе с корпусом. Создание моделей, выполнение сборок и последующий их запуск, расчет анализов зависит от возможностей персонального компьютера. Самые простые нагрузки, например, нагрузка на плиту от давления лежащих на ней деталей можно рассчитать за несколько секунд, а анализ упругих деформаций станочного оборудования или температурных деформаций может занять несколько недель непрерывной работы.

Станок – это машина, используемая на производстве для выполнения различных операций, таких как резка, сверление, шлифование, фрезерование и т. д. Он может быть ручным или автоматизированным и использоваться для изготовления деталей, сборки изделий или обработки материалов. Станки могут быть различных типов, включая токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные и другие.

Основными станками, используемые на предприятиях, являются токарные и фрезерные с ЧПУ (числовое программное управление). Станки с ЧПУ – это разновидность станков, которые управляются компьютером. Они позволяют точно контролировать движения инструмента и обрабатывать детали с высокой точностью и качеством. ЧПУ-станки могут быть использованы для изготовления сложных деталей, таких как автомобильные компоненты, медицинские инструменты и др.

Токарный станок – это станок, который используется для обработки деталей путем вращения заготовки и перемещения инструмента вдоль ее оси. Он может использоваться для изготовления цилиндрических деталей, таких как валы, втулки, оси и другие, а также для обработки наружных и внутренних поверхностей, нарезания резьбы, зенкерования и других операций.

Фрезерный станок – это станок, который используется для обработки плоских и объемных деталей путем перемещения инструмента (фрезы) в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Он может использоваться для фрезерования прямых и криволинейных поверхностей, пазов, карманов, уступов и других элементов.



Создание управляющих программ (УП) для станков с числовым программным управлением является важным этапом в процессе производства деталей на таких станках. Управляющая программа представляет собой последовательность команд, определяющих перемещения инструмента, скорости, подачи и другие параметры обработки.

Создание УП может осуществляться различными способами, включая использование САМ-систем, которые позволяют создавать УП на основе 3D-моделей деталей и технологических параметров обработки. Также УП могут быть разработаны вручную с использованием G-кодов или других систем кодирования.

После создания УП она загружается в память станка, и станок начинает обработку детали в соответствии с полученными командами. В процессе обработки оператор станка может вносить корректировки в УП, например, изменять скорость или подачу, в зависимости от конкретной ситуации.

Таким образом, создание управляющих программ для станков с ЧПУ является важным этапом производственного процесса, позволяющим получить детали высокого качества с минимальными затратами времени и ресурсов.

Ответственные узлы и детали станков – это элементы станков, от которых зависит точность и качество обработки деталей. К ним относятся шпиндель, направляющие, ШВП, подшипниковые узлы, зубчатые передачи, валы и оси, а также системы крепления инструмента и заготовки.

Шпиндель – это вращающийся вал, на котором закрепляется инструмент или заготовка. Он является одним из основных элементов станка и обеспечивает выполнение операций обработки деталей. Шпиндели могут иметь различные типы крепления инструмента, такие как цанговые, конусные и другие. Они также могут отличаться по мощности, скорости вращения и другим параметрам в зависимости от типа станка и выполняемых операций.

Направляющие – это элементы станка, обеспечивающие прямолинейное перемещение рабочих органов. Они могут быть выполнены из различных материалов, таких как сталь, бронза, полимерные материалы. Направляющие должны обладать высокой износостойкостью, точностью и жесткостью.

Шарики-винтовые пары (ШВП) – это элементы, преобразующие вращательное движение в поступательное. Они состоят из винта и гайки, выполненных в виде шариков. ШВП обеспечивают высокую точность и плавность перемещения рабочих органов, а также низкий уровень шума.

Подшипниковые узлы – это элементы, обеспечивающие вращение рабочих органов станка. Они должны обладать высокой точностью, долговечностью и надежностью. Подшипники могут быть шариковыми, роликовыми или комбинированными.

Зубчатые передачи – это элементы, передающие движение между валами с разными направлениями вращения. Они должны обеспечивать высокую точность и долговечность, а также быть устойчивыми к износу и коррозии.

Конечной целью компьютерного моделирования станочного оборудования является определение оптимальной конфигурации деталей и сборок для наиболее эффективной работы станка, просматривая все возможные варианты и проверяя их заранее в программе, а не в живую перевода материал, который дорог и ценен для работы.

### **Список литературы**

1. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – 2-е изд. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2015. – 464 с.

## О ПРЕИМУЩЕСТВАХ И НЕДОСТАТКАХ ОЧНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ (НА ОСНОВЕ ОПЫТА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН)

*Арбузов М.О.<sup>1</sup>, Некрасов А.Я.<sup>2</sup>, Соколов А.Н.<sup>3</sup>, Ривкин А.В.<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ИПТИ, доцент*

*E-mail: arbuzov428@yandex.ru*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ИПТИ, доцент*

*E-mail: a.nekrasov@stankin.ru*

*<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ИПТИ, доцент*

*E-mail: t-64@mail.ru*

*<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ИПТИ, доцент*

*E-mail: alexey-rivkin@yandex.ru*

Весенний семестр 2019–2020 учебного года в Московском Государственном технологическом университете «Станкин», как и в других вузах страны, отличался нетрадиционным проведением учебных занятий. Пандемия коронавирусной инфекции заставила перейти на дистанционное проведение всех видов учебного процесса, начиная с аудиторных занятий и вплоть до защит выпускных работ бакалавров и магистров. В связи с этим пришлось отказаться от отработанных годами методик проведения различных видов учебного процесса и перевести их в режим online, исключая непосредственный контакт преподавателя со студентом. С этой целью по предварительной договорённости через электронно-образовательную среду (ЭОС) университета выбиралась та или иная система дистанционного общения с использованием сети Интернет, в которой предполагалось ведение каждого конкретного вида занятий [1, 2].

Перед каждым преподавателем вуза встала задача по кардинальной перестройке проведения учебного процесса в новых условиях, с учётом, прежде всего, преподаваемой дисциплины. Очное и дистанционное преподавание имеют, конечно, свои достоинства и недостатки, но их сравнение возможно лишь с учётом особенностей самой дисциплины и видов учебного процесса, предусмотренных рабочей программой для конкретной специальности. Совершенно разный подход, в этом смысле, должен быть, например, к таким дисциплинам, как Безопасность жизнедеятельности, с одной стороны, и Прикладная механика, с другой [3, 4]. Также необходимо учитывать специфику разных видов учебных занятий, например, чтения лекций по технической дисциплине для потока студентов из нескольких групп и проведения персональной консультации для каждого студента при выполнении им курсового проекта по той же дисциплине.

Нисколько не сомневаясь в полезности и последующем развитии различных форм дистанционного образования, авторы убеждены, что оно останется, в обозримом будущем, только как дополнение к очному образованию, как один из полезных инструментов, расширяющих его возможности, как запасной вариант на случай повторения ситуации, связанной с пандемией или чем-то подобным.

На чём базируется это суждение? Что позитивного несёт в себе очное образование, чего никогда не сможет обеспечить дистанционный формат? Это, во-первых, наличие постоянной обратной связи между преподавателем и студентом при их тесном взаимодействии и доверительных отношениях, когда педагог понимает, ощущает степень восприятия, осмысления студентами объясняемого материала, а значит, чувствует возможность дальнейшего движения вперёд по теме или же необходимость внесения каких-то дополнений, пояснений, уточнений к изложенному материалу. С этой целью могут быть использованы контрольные вопросы, прямо или косвенно связанные с излагаемой темой. Во-вторых, это постоянный контроль участия каждого студента в учебном процессе без отвлечений на постороннее, помощь в ведении студентом необходимых записей, при выполнении им чертежей, схем, графиков. При этом замеченная преподавателем некоторая

утомлённость студентов, связанная с монотонностью и трудоёмкостью занятия, легко устраняется с помощью короткой паузы в изложении темы, заполненной ссылкой на какой-то вопрос, являющийся прикладным к основной теме или просто связанный с актуальными задачами высшего образования. В-третьих, конечно, это личный пример преподавателя, имея в виду соблюдение профессиональной дисциплины, внешний вид, владение читаемым предметом, речь, стремление и способность «вложить» в будущего специалиста необходимые знания и компетенции. Важно помнить о том, что параллельно с решением основной задачи высшего образования по подготовке специалистов нужного профиля, вуз готовит будущую интеллигенцию страны. В-четвёртых, непосредственный контакт со студентом позволяет педагогу, замечая личные качества того или иного студента, учитывать в необходимой степени в интересах учебного процесса его индивидуальные способности, степень подготовки к изучению данной дисциплины и т. п.

И, наконец, очное образование прививает студенту полезный навык работы в коллективе, в учебной группе, подгруппе, бригаде, что обязательно потребуется в условиях дальнейшей профессиональной работы. Это обстоятельство вырабатывает в будущем специалисте такие качества, как общительность, коммуникабельность, терпимость, привычка к взаимопомощи и обмену опытом с коллегами.

Коммуникационные технологии, обеспечивающие текстовую, голосовую и видеосвязь в режиме online, безусловно, имеют свои неоспоримые достоинства, поскольку позволяют проводить занятия и осуществлять общение преподавателя со студентом, исключая необходимость поездки тех в вуз, из любого места, где доступно использование сети Интернет [1, 2]. Очевидно, что и преподавателю, и студенту нужно иметь соответствующее программное обеспечение как постоянно готовый к употреблению инструмент связи на случай новой пандемии или непредвиденной невозможности поездки преподавателя в вуз (внезапное недомогание, проблема с транспортом, краткосрочная командировка и пр.). Этот режим коммуникации в ряде случаев весьма удобен для студента, например, для оперативного решения частных вопросов с участием руководителя выпускной квалификационной работы накануне её защиты. Но, всё же, на наш взгляд, дистанционный режим обучения – это постоянно готовый к употреблению, но, тем не менее, запасной, второстепенный вариант ведения учебного процесса в вузе. Это полезное, а иногда и необходимое дополнение к основному очному образованию.

Необходимо отметить, что 1 сентября 2020 года Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин на Всероссийском открытом уроке, прошедшем в режиме видеоконференции, заявил, что полный переход на дистанционное обучение нецелесообразен: «Дистанционный способ получения образования не может заменить реальный, традиционный. Он может только дополнять традиционные способы получения знаний» [5]. Таким образом, Президент Российской Федерации обозначил ясную позицию, что дистанционный формат обучения и инструменты его реализации должны именно эффективно дополнять, а вовсе не заменять полностью образовательный процесс.

Многолетний опыт преподавания такой важнейшей для студента-машиностроителя дисциплины, как «Детали машин», подводящей итог изучению студентом общетехнических дисциплин и являющейся базой для специальных курсов, читаемых позднее будущему конструктору или технологу на выпускающих кафедрах, позволяет оценить возможности и эффективность использования дистанционного обучения при изучении студентом именно этого предмета [6].

Изучение дисциплины «Детали машин» предусматривает следующие виды занятий: лекции со сдачей экзамена студентом при завершении чтения курса, лабораторные работы, практические занятия (семинары) и курсовой проект с его защитой. Попробуем оценить возможность и целесообразность использования режима online (в условиях доступности обоих форматов обучения) для различных видов занятий в процессе преподавания дисциплины «Детали машин».

По нашему мнению, чтение курса лекций, связанное с обязательным выполнением на доске многочисленных чертежей различных конструкций, а не с демонстрацией их, уже готовых, с помощью проектора на экране, следует проводить исключительно в очном режиме. Преподаватель имеет возможность периодически осуществлять контроль обязательного выполнения таких чертежей студентами в своих конспектах, делая при этом персональные замечания по качеству их исполнения и оценивая степень участия конкретного студента в изучении данного курса. При такой методике чтения лекционного материала уровень выполнения студентами чертежей различных машиностроительных конструкций за семестр, в течение которого читается данный курс, существенно повышается, что отражается на качестве выполнения графической части курсового проекта по этой дисциплине, который выполняется студентом в весеннем семестре.

Оценка знаний студента при сдаче экзамена по данному курсу в очном режиме, конечно, достовернее и убедительнее и для преподавателя, и для студента.

Использование дистанционного режима при проведении лабораторных работ зависит от их характера. Необходимость использования макетов, специального оборудования, измерительной аппаратуры и т. п., а также предполагаемый бригадный характер работы учебной группы обуславливают проведение занятия в очном режиме в лаборатории кафедры. Если лабораторная работа построена на выполнении каких-либо расчётов и чертежей после полученного каждым студентом персонального задания, то она может проводиться и в режиме online.

Практические работы (семинары) по дисциплине «Детали машин», под общим названием «Методика курсового проектирования», в соответствии с учебным планом проводятся одновременно с выполнением каждым студентом курсового проекта по персональному заданию. Но есть общие вопросы, касающиеся всех или большинства студентов. Освещению именно таких вопросов и посвящены указанные практические работы, которые проводились дистанционно в весеннем семестре 2020 года и были построены следующим образом. За два дня до проведения семинара в ЭОС университета размещалось руководство по подготовке студентов к предстоящему занятию, с которым те обязаны были заранее ознакомиться. В нём указывались задачи семинара, перечень вопросов для обсуждения, необходимая техническая литература, на которую предполагались ссылки преподавателя в процессе проведения предстоящего занятия. Например, изданный университетом и имеющийся у каждого студента атлас типовых машиностроительных конструкций. Первую половину семинара занимало выступление преподавателя, а вторую – его ответы на вопросы студентов и совместное со студентами обсуждение различных аспектов темы.

Выполнение курсового проекта в весеннем семестре 3-го курса завершает изучение дисциплины «Детали машин» будущими инженерами. При этом предусмотрено проведение преподавателем еженедельных индивидуальных консультаций по курсовому проектированию (рис. 1).

Руководство работой студентов над курсовым проектом по дисциплине «Детали машин» осуществлялось в весеннем семестре 2020 года, как и другие виды занятий, в режиме online с использованием различных цифровых платформ [1]. Этот формат оказался весьма удобным для проведения персональных еженедельных консультаций для каждого студента и практически не уступал по эффективности их проведению в очном формате. Графическая часть проекта, состоящая из сборочных и рабочих чертежей, выполняется студентом в настоящее время исключительно с использованием САПР и компьютерной графики [6]. Чертежи и расчётно-пояснительная записка, содержащая необходимые проектные и проверочные расчёты и другие материалы к проекту, последовательно демонстрируются студентом на дисплее компьютера преподавателя, который делает необходимые поправки и замечания. После выполнения полного объёма работы над проектом студент допускается к его защите. В 2020 году защита проекта проходила, как и сами консультации, дистанционно в режиме online.



*Рис. 1. Доцент кафедры станков МГТУ «Станкин» М.О. Арбузов проводит очную индивидуальную консультацию по курсовому проектированию*

Таким образом, многолетний опыт преподавания инженерной дисциплины (Детали машин) подтверждает возможность качественно проводить занятия по дисциплине как в традиционном, очном формате, так и дистанционно. Однако, учитывая комплексный характер инженерных дисциплин, их относительную сложность, наличие в программе всех видов учебных занятий, включая курсовое проектирование с необходимостью проведения индивидуальных консультаций, следует признать наиболее эффективной именно очную форму обучения.

### **Список литературы**

1. Соболев А.Н., Арбузов М.О., Некрасов А.Я. Об особенностях реализации дистанционного обучения в техническом вузе в условиях пандемии (платформа Moodle: электронная образовательная среда) // Техническое творчество молодёжи. – 2020. – № 5(123). – С. 20–24.
2. Букейханов Н.Р., Гвоздкова С.И. Опыт реализации цифровых технологий преподавания в условиях пандемии COVID-19: продолжение исследования // Российские регионы: взгляд в будущее. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 51–61.
3. Бутримова О.В. Методика проведения занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» на тему «Опасные производственные факторы и риск» // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2(134). – С. 53–55.
4. Букейханов Н.Р., Бутримова Е.В., Бутримова О.В., Чмырь И.М., Гвоздкова С.И. К методике повышения эффективности мотивации изучения студентами технических вузов дисциплин «Медико-биологические основы безопасности» и «Физиология» // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 6(174). – С. 69–72.
5. Путин: Россия – государство с технологиями, а не страна-бензоколонка. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4475274>. Дата обращения: 05.12.2022.
6. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Арбузов М.О. Об опыте подготовки и проведения студенческой научно-практической конференции // Техническое творчество молодёжи. – 2016. – № 4(98). – С. 17–20.

## МАГНИТНЫЕ РЕДУКТОРЫ (ОБЗОР)

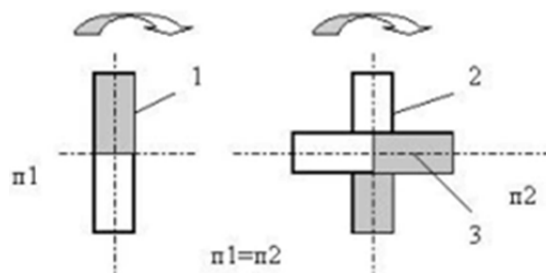
*Нехорошев В.А.  
НИ ТПУ, ИШНПТ*

В современном мире механические передачи используются во всех видах техники от автомобилей до швейной машины, сделанные как из металла, так и из пластика. Редукторы были созданы для передачи вращения с одного звена другому с понижением оборотов.

Известный ученый и изобретатель Валерий Дмитриевич Дудышев предлагает создать совершенно новый энергосберегающий тип бесконтактного редуктора нового поколения – магнитный редуктор (МР). Для этого можно и нужно использовать современные сильные постоянные магниты и их известные свойства силового взаимодействия между собой.

Фундаментальным свойством и условием силового взаимодействия одного или более намагниченных тел (например, постоянных магнитов) между собой является их известное всем еще со школьной скамьи стремление притянуться противоположными полюсами, в связи с этим одновременное стремление к взаимной неподвижности их магнитных полей в пространстве. Передача энергии происходит посредством сил взаимодействия, возникающих при прохождении через элементы механизма магнитного потока. Отсутствие механических контактов создает возможность работы механизмов в вакууме, при высоких и низких температурах, радиации, а также обеспечивает высокий КПД, отсутствие износов, уменьшенные шумы, возможность передачи движения в герметичные объемы, содержащие химически агрессивные и взрывоопасные вещества.

Принцип работы такого механизма можно описать следующим образом: передача энергии осуществляется за счет редукция скорости двух разнополюсных магнитов, один из которых является ведущим, а второй – соответственно, ведомым. В качестве доказательства данного факта достаточно собрать простейшую магнитомеханическую установку (рис. 1). При вращении элементарного полосового магнита 1 угловая скорость вращения составного магнита 2, 3 будет в два раза меньше скорости вращения магнита 1. Это происходит, потому что только при данном условии так взаимодействуют магнитные поля этих не связанных механически взаимно неподвижных магнитов в пространстве.



*Рис.1 Принцип магнитной редукции скорости*

Преимущества магнитного редуктора:

- высокое КПД, так как отсутствует трение в зацеплении;
- компактные размеры и малый вес, что облегчает их использование в различных системах;
- отсутствие трения в зацеплении увеличивает срок службы такого механизма, позволяет реже их обслуживать или ремонтировать. В случае невозможности передачи вращающего момента звеньями редуктора электродвигатель не остановится и не сломается из-за клина, звенья будут проворачиваться.

Недостатки магнитного редуктора:

- магниты теряют свои магнитные свойства с повышением температуры, поэтому сужается их зона использования;
- так как механически звенья не контактируют между собой передача момента зависит только от сил отталкивания и притягивания магнитов, которые ниже механических.

Область применения: магнитные редукторы могут пагубно влиять на окружение и технику, находящуюся вблизи от них.

Особенности магнитных передач:

- бесконтактная передача – нет трения между элементами передачи;
- эффективное использование рабочего объема – в передаче момента могут участвовать все или несколько магнитных полюсов;
- использование максимального крутящего момента;
- входные и выходные валы могут быть изолированы (герметично отделены) друг от друга;
- защита от перегрузок по моменту;
- повышенная устойчивость к несоосности передаточных узлов.

На рис. 2 представлены варианты разработок магнитных редукторов, созданных как в России, так и за рубежом.

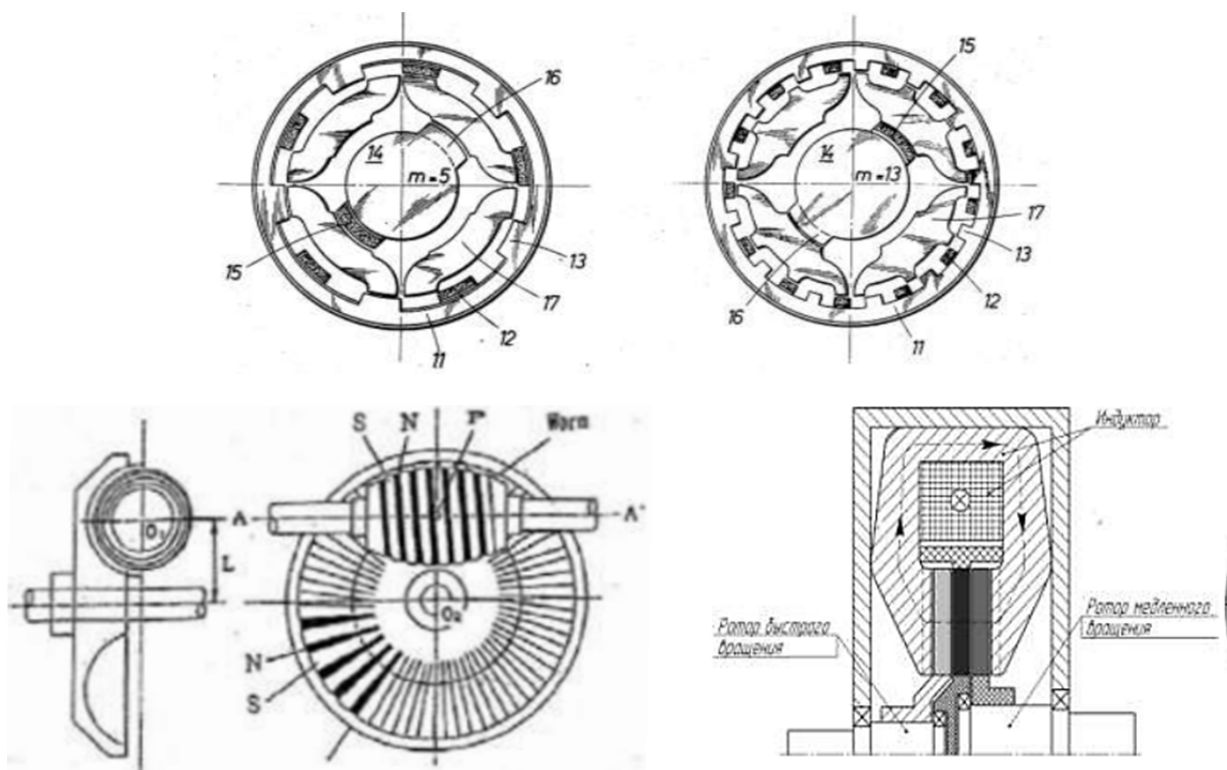


Рис. 2. Электромагнитный редуктор (патент США №3,645650),  
Магнитный червячный редуктор, Продольное сечение торцевого электромагнитного редуктора  
(патент РФ №118136U)

### Список литературы

1. <https://electrophysic.ru/pomosch/magnitnyy-reduktor-printsip-raboty.html>.
2. <https://eco21x.wordpress.com/2010/03/24/article36/>.
3. Афанасьев А.Ю. Электромагнитные и магнитные передачи (редукторы и мультипликаторы) с возможностью передачи момента в герметичные объемы / А.Ю. Афанасьев, Н.В. Давыдов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – № 7–8. – С. 85–91.
4. Осетров, В.Г. Разработка и исследование магнитных планетарных редукторов / В.Г. Осетров, В.Б. Федоров, Е.С. Слащев // Вісник СевНТУ. – 2014. – № 151. – С. 122–126.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Шейерман Ю.Д.  
НИ ТПУ, ИШНПТ*

Техническое перевооружение предприятий машиностроительного профиля является важным этапом развития и модернизации современных производств. Это масштабный процесс, который предполагает внедрение новых технологий, обновление оборудования и повышение эффективности производства.

В современном динамичном мире конкуренция на рынке машиностроительной промышленности становится все более жесткой. Предприятия этой отрасли принуждены приспособляться к новым требованиям, чтобы оставаться конкурентоспособными и успешно развиваться. Одним из наиболее эффективных методов достижения этих целей является техническое перевооружение, которое позволяет предприятию обновить свое производство и повысить его эффективность.

Переворужение предприятий машиностроительного профиля осуществляется с целью улучшения производственных процессов, снижения затрат, повышения качества продукции и укрепления конкурентоспособности на рынке. Это позволяет предприятиям более эффективно осуществлять свою деятельность, а также приспособляться к изменяющимся требованиям и условиям рынка.

Один из важных аспектов технического перевооружения предприятий – внедрение новейших технологий производства. Это может быть автоматизация процессов, внедрение цифровых технологий, применение искусственного интеллекта и многого другого.

ИИ способен помочь в решении всех базовых задач, это:

- управление процессами на производстве в режиме реального времени;
- моделирование при проектировании узлов и агрегатов;
- применение роботов-ассистентов для упрощения труда;
- интегрированное планирование и управление складскими запасами и цепочками поставок;
- прогнозирование наличия запчастей для технического обслуживания и ремонта.

Кроме того, техническое перевооружение предприятий машиностроительного профиля включает модернизацию и обновление оборудования. Старое и устаревшее оборудование заменяется на новое, более современное и эффективное. Это позволяет предприятиям работать более рационально, сокращая время на производство и улучшая качество изготавливаемой продукции.

Появление САПР в нашей стране произошло в конце 1980-х годов и было вызвано необходимостью автоматизации процесса проектирования из-за низкой производительности инженерного труда в сравнении с материальным производством. Первые системы основывались на автоматизации расчетов и практически не обладали интерактивностью.

Основой структурной единицей САПР является программа «Компас-3D». Новейшая версия этой программы позволяет значительно расширить работу по моделированию поверхностей, дополняя уже давно реализованное твердотельное моделирование. КОМПАС-3D также включает в свою структуру универсальную программу КОМПАС-График, которая позволяет выпускать полный набор конструкторских документов, в том числе проект спецификации к сборочным чертежам. САПР-система разработана для поддержания стандартов единой системы конструкторской документации, но с возможностью импорта/экспорта различных форматов файлов в соответствии со стандартами компании. Таким образом, полный функционал системы КОМПАС направлен на быстрое создание высококачественных чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок, технических условий, инструкций и прочих документов.



Важной составляющей технического перевооружения является повышение квалификации персонала. Вместе с внедрением новых технологий и оборудования, необходимо обучение сотрудников предприятия и их адаптация к новым условиям работы. Это позволяет максимально эффективно использовать новые технологии и достичь оптимального результата.

Техническое перевооружение предприятий машиностроительного профиля – это необходимый и актуальный процесс, который помогает предприятиям быть конкурентоспособными и успешными на рынке. Он способствует модернизации и развитию производства, повышает производительность, снижает затраты и улучшает качество продукции. Таким образом, техническое перевооружение является ключевым фактором в достижении успеха и процветания предприятий машиностроительной отрасли.

### **Список литературы**

1. Овсянникова, Е.А. Отечественные САПР-системы и их использование в инженерной графике / Е.А. Овсянникова // Россия молодая: Сборник материалов XIV всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 94705.1–94705.5.

2. <https://sber.pro/digital/publication/ot-mashinostroeniya-do-metallurgii-kak-primenyaetsya-ii-v-promyshlennosti>.

3. <https://center2m.ru/tsifrovizatsiya-promishlennosti>.

## СРАВНЕНИЕ КИНЕМАТИКИ 3D ПРИНЕТРОВ

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

Развитие технологий изготовления объемных предметов с помощью 3D-печати разнообразно: цифровая светодиодная проекция (DLP), лазерная стереолитография (SLA), селективное лазерное спекание (SLS), тепловое спекание (SHS) и т. д. Качество печати 3D-принтера и принцип его работы зависят от нескольких факторов. Один из важных показателей – кинематика. В данной работе рассмотрим кинематику самых популярных на данный момент 3D-принтеров FFF.

FFF-принтеры (Fused Filament Fabrication, «производство методом наплавления нитей»), также известны как принтеры FDM (от Fused Deposition Modelling, «моделирование методом наплавления»). Представляют собой устройства для создания трехмерных объектов, как понятно из названия, путем послойного нанесения на рабочую поверхность расплавленного термопластика.

Каждый 3D принтер имеет собственную кинематическую схему, которая позволяет приводить в движение механические части устройства. В данной статье будут показаны 2 основных кинематических схемы 3D-принтера: Картезианский и дельта-принтер.

*Картезианская схема 3D принтера.*

Самые распространенные – 3D-принтеры с картезианской кинематикой. Они основаны на декартовой системе координат, работают осях X, Y и Z. По ним задаются координаты, по которым печатающая головка меняет положение относительно платформы. У печатающей головки есть ограничения относительно движения по трем осям.

Картезианские 3D принтеры имеют 2 популярные разновидности: CoreXY и H-Bot. Данные кинематические схемы отличаются оригинальным положением экструдера.

Кинематическая схема CoreXY представлена на рис. 1.

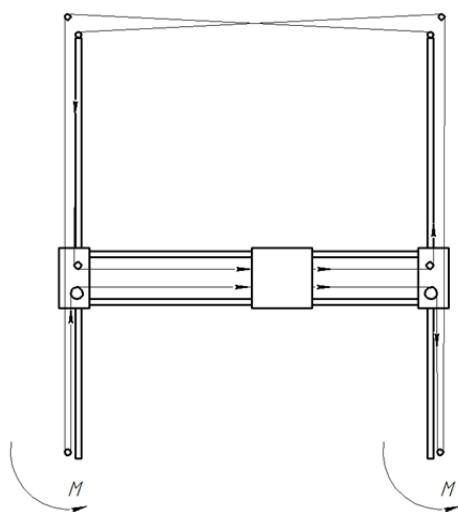


Рис. 1. Кинематика CoreXY

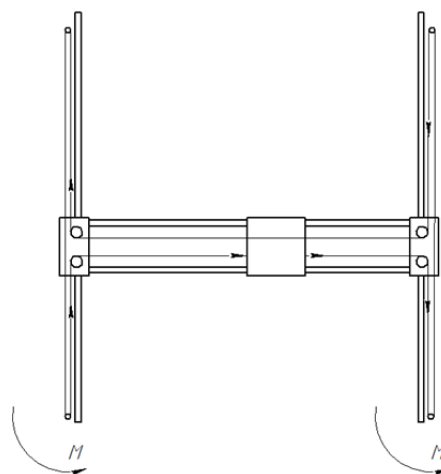


Рис. 2. Кинематика H-Bot

CoreXY имеет 2 закрепленных на раме двигателя, которые приводят в движение 2 ремня для перемещения каретки экструдера по сом XY. Проблема крутящего момента решается за счет использования двух перекрестных ремней.

Кинематическая схема H-Bot представлена на рис. 2.

H-Bot отличается от CoreXY тем, что в данном случае ремень один и натянут по форме, напоминающей букву Н. H-Bot использует одну непрерывную ленту для передачи усилия на портал и каретку экструдера. Направление и скорость вращения шаговых двигателей задают по осям X и Y. Преимуществом использования этой системы является по-

тенциально малая масса подвижного портала из-за того, что шаговые двигатели являются частью шасси. Стрелки вектора силы показывают главный недостаток системы H-Bot – проблему с вибрацией если плохо собран корпус принтера. Создается момент, который можно решить с помощью очень жесткого прочного каркаса.

Принцип работы у данных схем одинаковый: при работе обоих двигателей в одну сторону, каретка движется по оси X, в разные стороны – по оси Y. Если один из двигателей остается неподвижным, каретка начинает движение по диагонали.

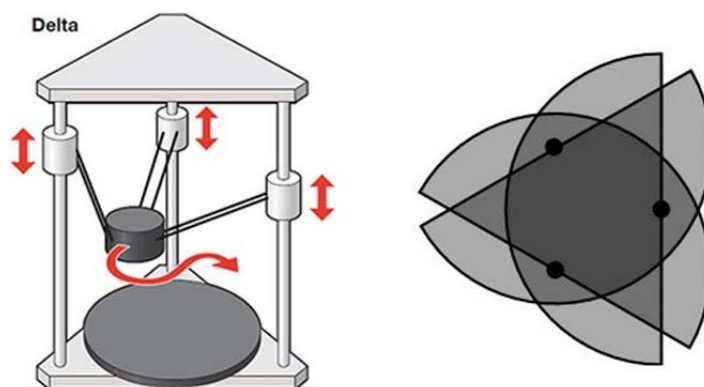
Основные преимущества картезианской схемы в том, что принтеры, работающие по данной схеме, имеют практически идеальный стабильный результат. К тому же, т. к. картезианская схема одна из самых популярных, сырье для печати стоит недорого и на интернет форумах, можно найти ответ на практически любой вопрос, который может возникнуть при работе с картезианскими принтерами.

Из недостатков картезианских 3D принтеров можно выделить низкую скорость печати и ограниченность в размерах.

#### *Дельта-принтер:*

Основное отличие дельта кинематики от картезианских заключается в том, что экструдер закреплен на трех точках опоры. Это позволяет развивать более высокую скорость печати, но при этом накапливаются ошибки на краях модели, ведь для движения экструдера задействованы все 3 точки крепления и их двигатели работают одновременно.

Схема движения дельта-принтера представлена на рис.3.



*Рис. 3. Схема движения Дельта-принтера*

Основные преимущества дельта-принтера:

1. Относительно небольшие габариты.
2. Возможность печатать большие вертикальные объекты.
3. Высокая скорость печати.
4. Отсутствие выступающих деталей.

Из недостатков самым главным является накопление ошибок по краям модели.

Из представленного выше можно сделать вывод, выбор принтера зависит от требований к технике и сфере использования.

#### **Список литературы**

1. <https://top3dshop.ru/blog/types-of-fdm-3d-printer.html>
2. <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/raznovidnosti-kinematik-fdm-3d-printerov/>
3. <https://3dradar.ru/post/47812/>
4. <https://vektorus.ru/blog/kinematika-3d-printerov.html>

**СЕКЦИЯ 2**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА**

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МИКРОГЭС НА БАЗЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Однокопылов Г.И., д.т.н., проф.,  
Стоянов А.С., студент гр. 5А07  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
тел. (3822) 70-17-77, вн. 1961  
E-mail: ass175@tpu.ru

В настоящее время возрастают требования к возобновляемым источникам электроэнергии в плане экономичности, энергоэффективности и экологичности [1]. В связи с этим разрабатываются принципиально новые конструктивные решения.

В данной статье представлена модель устройства сбора энергии потока на основе автоколебательного контура [2]. Рассматриваемое устройство может быть использовано в составе микроГЭС как элемент, преобразующий кинетическую энергию потока жидкости в механическую энергию колебаний. Контур представляет собой автоколебательную систему, кинематическая схема которой представлена на рис. 1.

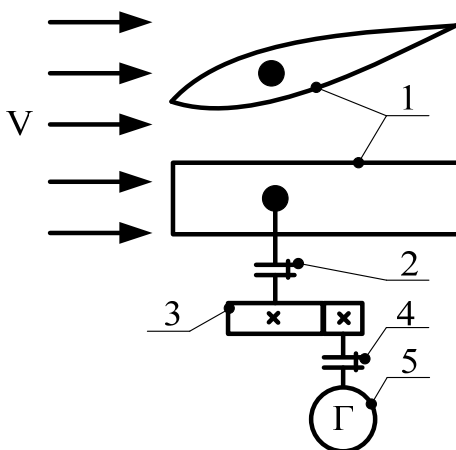


Рис. 1. Кинематическая схема автоколебательного контура

Поток воды со скоростью  $V$  в диапазоне от 1,5 до 6 м/с поступает на крыло 1, связанное посредством муфты 2 с мультипликатором 3, быстроходный вал которого с помощью муфты 4 соединён с валом генератора постоянного тока 5.

При отклонении крыла 1 возникают аэродинамические давления, зависящие от угла отклонения  $\varphi$ .

Усилия, возникающие при отклонении крыла относительно оси шарнира, создают момент, подаваемый на вал генератора. В рамках исследования генератор 5 работает в режиме динамического торможения.

Динамика рассматриваемого автоколебательного контура описывается следующими дифференциальными уравнениями [3]:

$$\begin{cases} J \cdot \ddot{\varphi} + B \cdot \dot{\varphi} + C_{\text{торс}} \cdot \varphi = M(\varphi) \\ M(\varphi) = \frac{\rho v^2}{2} \cdot C_y \cdot S \cdot l \end{cases} \quad (1)$$

где  $B$  – коэффициент демпфирования (экстракции), Н·с;  $J$  – приведенный момент инерции крыла, кг·м<sup>2</sup>;  $C_{\text{торс}}$  – жесткость торсиона, Н·м/рад;  $M(\varphi)$  – момент возбуждения, Н·м;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $S$  – площадь крыла, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина от центра давления до центра вращения, м;  $C_y$  – поляра крыла.

Имитационная модель микроГЭС на базе автоколебательного контура в среде Matlab Simulink приведена на рис. 2. Модель основана на системе уравнений (1). Блок «Генератор» представлен моделью электрической машины постоянного тока с независимым возбуждением из библиотеки Simscape.

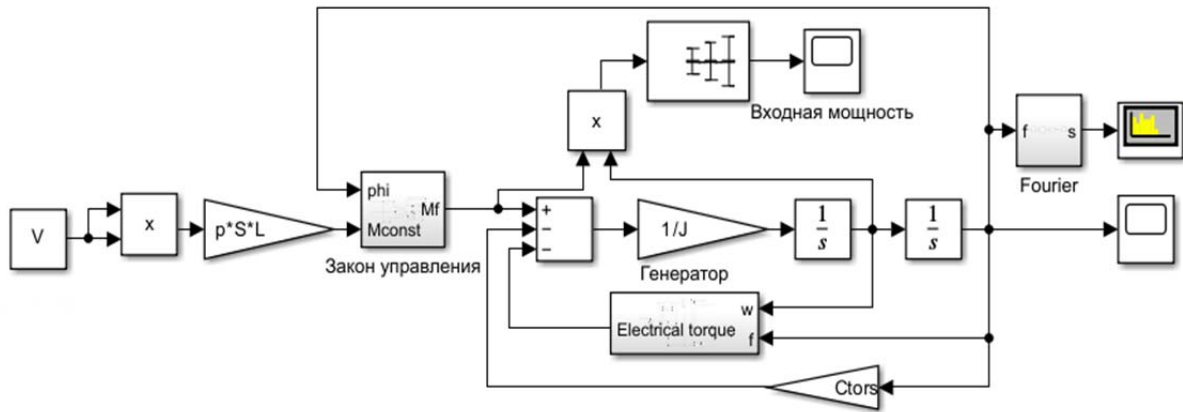


Рис. 2. Имитационная модель микроГЭС

Результаты моделирования в виде графиков входной механической и выходной электрической мощностей для параметров  $V = 4$  м/с,  $J = 0,4$  кг·м<sup>2</sup>,  $S = 1$  м<sup>2</sup>,  $l = 0,2$  м представлены на рис. 3.

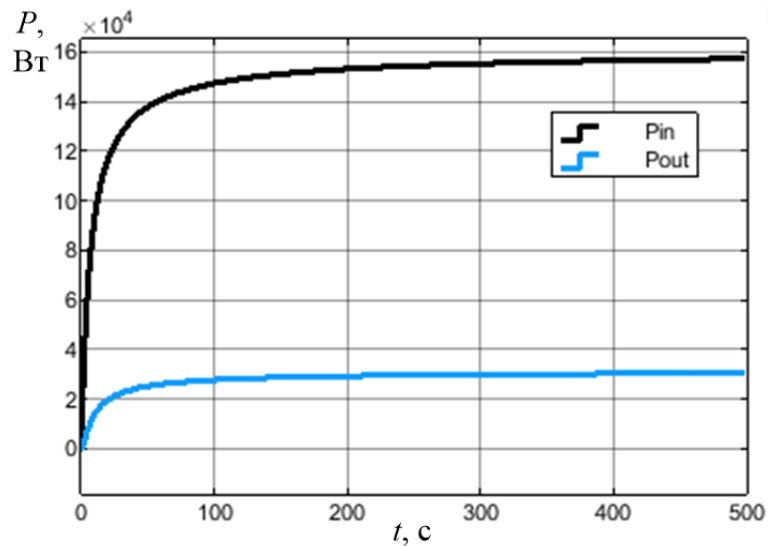


Рис. 3. Кривые входной и выходной мощностей

Согласно полученным характеристикам можно заключить, что КПД процесса генерации энергии посредством автоколебательного контура небольшой и составляет порядка 20 % относительно максимальной мощности потока жидкости на крыло. Несмотря на этот факт, применение подобных гидроэлектростанций оправдано сравнительно небольшими массогабаритными показателями агрегата.

Разработанная модель позволяет оценивать энергоэффективность линейки микроГЭС на базе автоколебательного контура на этапе разработки.

### Список литературы

1. Сибикин, Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 2-е изд., стереотип. – Москва: КноРус, 2021. – 229 с.
2. James Glynn, Design of Biomimetic Passive Control for Optimisation of Oscillating Hydrofoils in Tidal Energy Capture / A Thesis for the degree of Master of Science / University of Strathclyde Department of Mechanical Engineering Energy Systems Research Unit, 2006.– 100 p.
3. Харкевич А.А. Автоколебания. Изд. 2-е – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 176 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Глазырин А.С.<sup>1</sup>, Попов Е.И.<sup>2</sup>, Копырин В.А.<sup>3</sup>, Кладиев С.Н.<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, профессор*

*E-mail: asglazyrin@tpu.ru*

*<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет*

*E-mail: popovei72@mail.ru*

*<sup>3</sup>Тюменский индустриальный университет, доцент*

*E-mail: kopyrinva@gmail.com*

*<sup>4</sup>НИ ТПУ, доцент*

*E-mail: kladiev@tpu.ru*

В теории автоматического управления под динамической системой понимается объект или процесс, для которого определено понятие состояния и задан закон эволюции во времени с помощью математического аппарата систем дифференциальных, интегральных, разностных или иных уравнений [1]. Примером динамической системы является электротехнический комплекс (ЭТК), включающий кабельную линию, трансформатор, электрический привод с преобразователем частоты и своей системой управления, а также другие элементы.

Любая динамическая система может быть представлена в виде совокупности подсистем [2]. Компонентом ЭТК электропривода при его математическом моделировании является апериодическое звено первого порядка – рассматриваемая в статье подсистема. Оно входит в состав как математической модели самого объекта, так и различных регуляторов и фильтров в системе управления электроприводом.

При разработке фильтров и регуляторов объектов управления система дифференциальных уравнений последних приводится к операторному виду согласно преобразованию Лапласа и представляется в виде передаточных функций, работающих в непрерывном времени. Представление регуляторов, фильтров и элементов электропривода в виде апериодического звена позволяет перейти от описания модели в непрерывном времени к описанию в дискретном, поскольку апериодическое звено является динамической системой с одним входом и одним выходом, а значит может быть представлено в виде цифрового фильтра на основе какой-либо разностной схемы [3].

На основе цифровых фильтров могут быть реализованы алгоритмы цифровых систем управления (ЦСУ), поскольку они могут принимать и выдавать сигналы только в дискретной форме в виде конечных упорядоченных последовательностей отсчетов сигнала [4]. Применение систем управления с цифровыми фильтрами обусловлено меньшей ресурсоемкостью вычислений управляющих воздействий цифрового регулятора в сравнении с аналоговым, следовательно, расширяется арсенал микроконтроллерных средств для аппаратной реализации ЦСУ. Современные системы цифрового управления позволяют расширить функциональные возможности электроприводов для применения в сложных технологических процессах.

Основным подходом при синтезе современных цифровых систем управления является метод аналоговых прототипов, который заключается в том, что для динамических систем в дискретном времени применяются те же принципы регулирования, что и систем в непрерывном времени при условии выполнения теоремы Котельникова-Шеннона при дискретизации сигналов. В некоторых специальных случаях, когда невозможно применить достаточно малый период дискретизации, метод аналоговых прототипов всегда будет приводить к нежелательным результатам, например, искажениям в частотной области.



Применение метода аналоговых прототипов всегда приводит к потере точностных свойств фильтра, и для обеспечения корректности его работы (сохранения фундаментальных свойств) к цифровому фильтру предъявляется ряд требований [4]:

1. Мнимая ось  $p$ -плоскости должна отображаться в единичную окружность  $z$  – плоскости.

2. Левая полуплоскость  $p$ -плоскости  $\text{Re}(p) < 0$  должна отображаться во внутреннюю часть единичного круга  $z$ -плоскости  $|z| < 1$ .

3. Преобразование должно быть дробно-рациональным, поскольку именно такое преобразование будет отображать отношение полиномов от аргумента  $p$  в отношение полиномов от аргумента  $z^{-1}$ , что позволит реализовывать цифровые фильтры с сосредоточенными параметрами.

Рассмотрим дифференциальное уравнение простейшей  $RL$ -цепи и представим его с помощью прямого преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях в виде аperiodического звена  $W(p)$  с входным сигналом напряжения  $u(t)$  и выходным сигналом тока  $i(t)$ :

$$u(t) = L \frac{d}{dt} i(t) + R \cdot i(t), \quad (1)$$

$$U(p) = I(p)(pL + R), \quad W(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{k_n}{T_a p + 1},$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $L$  – индуктивность цепи, Гн;  $R$  – активное сопротивление цепи, Ом;  $k_n = 1/R$  – коэффициент передачи, Ом $^{-1}$ ;  $T_a = L/R$  – постоянная времени, с.

$W(p)$  – исходная передаточная функция. Примем период дискретизации  $T_d = 1$  с, индуктивность цепи  $L = 10$  Гн, активное сопротивление  $R = 1$  Ом. Следовательно,  $T_a = 10$  с,  $k_n = 1$  Ом $^{-1}$ .

Простейшие способы перехода от дифференциальных к конечно-разностным уравнениям системы: метод левых прямоугольников, метод правых прямоугольников, метод трапеций (билинейное преобразование или преобразование Тастина) рассмотрены в [4, 5]. Построим цифровые передаточные функции и соответствующие им разностные уравнения аperiodического звена каждого из методов согласно [5].

Аппроксимация оператора Лапласа  $p$  методом левых прямоугольников:

$$p = \frac{z-1}{T_d}, \quad W_{\text{л}}(z) = \frac{1}{10 \frac{z-1}{T_d} + 1} = \frac{0,1}{z-0,9} = \frac{0,1z^{-1}}{1-0,9z^{-1}},$$

$$I_{\text{л}}[k] = k_n \frac{T_d}{T_a} U[k-1] + \frac{T_a - T_d}{T_a} I_{\text{л}}[k-1] = 0,1U[k-1] + 0,9I_{\text{л}}[k-1], \quad (2)$$

метод правых прямоугольников:

$$p = \frac{z-1}{T_d z}, \quad W_{\text{п}}(z) = \frac{1}{10 \frac{z-1}{T_d z} + 1} = \frac{z}{11z-10} = \frac{1}{11-10z^{-1}},$$

$$I_{\text{п}}[k] = \frac{k_n T_d}{T_a + T_d} U[k] + \frac{T_a}{T_a + T_d} I_{\text{п}}[k-1] = \frac{1}{11} U[k] + \frac{10}{11} I_{\text{п}}[k-1], \quad (3)$$

метод трапеций (билинейное преобразование или преобразование Тастина):

$$p = \frac{2}{T_d} \frac{z-1}{z+1}, \quad W_{\text{т}}(z) = \frac{1}{10 \frac{2}{T_d} \frac{z-1}{z+1} + 1} = \frac{z+1}{21z-19} = \frac{1+z^{-1}}{21-19z^{-1}},$$

$$I_T[k] = \frac{k_n T_D}{2T_a + T_D} U[k] + \frac{k_n T_D}{2T_a + T_D} U[k-1] + \frac{2T_a - T_D}{2T_a + T_D} I_T[k-1] = \frac{1}{21} U[k] + \frac{1}{21} U[k-1] + \frac{19}{21} I_T[k-1], \quad (4)$$

где  $I[k]$ ,  $I[k-1]$  – выходные сигналы тока на текущем и предыдущем шаге дискретизации, А;  $U[k]$ ,  $U[k-1]$  – входные сигналы напряжения на текущем и предыдущем шаге дискретизации, В.

Рассмотрим обработку скачка задания  $u(t) = 1(t)$  В (реакцию на функцию Хевисайда) полученных аналоговой и цифровых передаточных функций. Точное решение дифференциального уравнения (1):

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \right] = 1 - \exp\left(-\frac{1}{10}t\right). \quad (5)$$

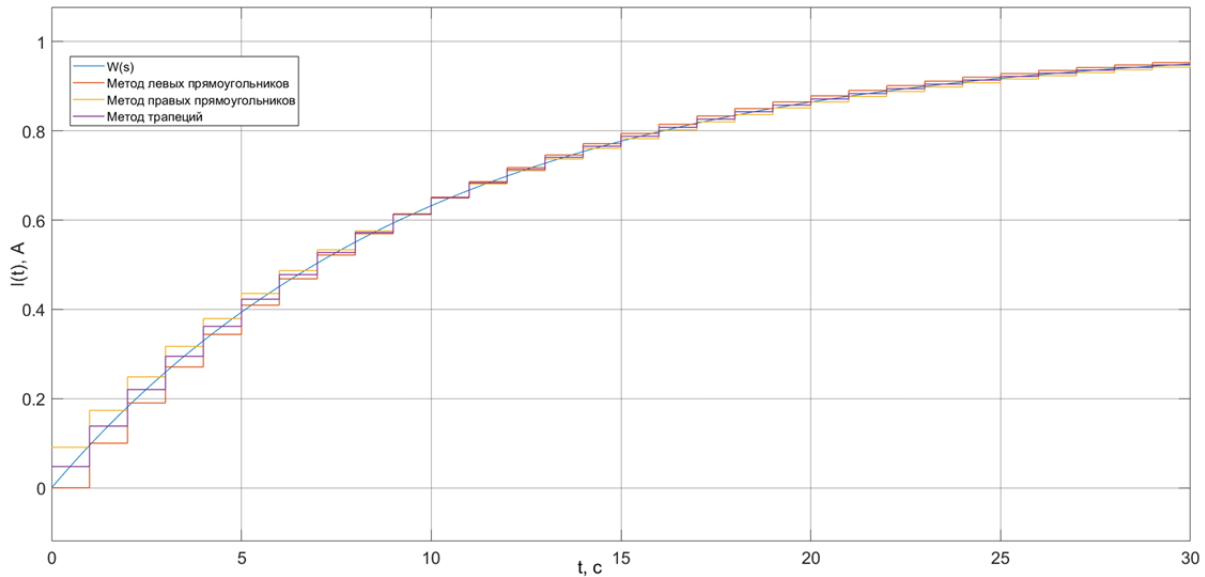


Рис. 1. Обработка скачка задания  $u(t) = 1(t)$  В исходной аналоговой и аппроксимирующими дискретными передаточными функциями

Полученные результаты показывают, что рассмотренные способы аппроксимации оператора  $p$  дают хорошее приближение к исходной передаточной функции. Однако в каждом случае возникает абсолютная ошибка интегрирования, поскольку ни в одном из узлов временной сетки данные преобразования не дают точного совпадения с исходным процессом.

Произведем расчет накопленной абсолютной погрешности  $\varepsilon_{\text{абс}}$  как разность действующего значения функции (5) в непрерывном времени и значения соответствующей ей аппроксимирующей функции (2), (3), (4) в дискретном времени на  $k$ -ом интервале интегрирования для каждого из методов аппроксимации оператора  $p$  и сведем в таблицу 1. Вычисление площади исходной функции  $S_{\text{исх}}$  производится по пределам интегрирования, соответствующим интервалу расчета. Площадь для дискретной функции  $S_Z$  определяется как произведение значения функции на  $k$ -ом шаге на период дискретизации.

$$\varepsilon_{\text{абс}} = \sum_{k=1}^N I_{\text{исх}_k} - \sum_{k=1}^N I_{Z_k}, \quad I_{\text{исх}_k} = \sqrt{\frac{1}{t_k - t_{k-1}} \int_{t_{k-1}}^{t_k} (i(t))^2 dt}, \quad I_{Z_k} = I[k],$$

где  $N = 30$ ,  $k = 0, 1, \dots, N$ ,  $I_{\text{исх}_k}$  – действующее значение исходной функции (5) на  $k$ -м интервале интегрирования, А;  $t_k = T_D \cdot k$ , с;  $S_{Z_k}$  – значение аппроксимирующей функции на  $k$ -м шаге интегрирования, А;  $I[k]$  – выходной сигнал тока соответствующего метода аппроксимации на  $k$ -ом шаге согласно (2), (3), (4), А.

Таблица 1

Накопленная абсолютная погрешность при аппроксимации оператора дифференцирования методами левых прямоугольников, правых прямоугольников и методом трапеций (Гастина)

Шаг расчета $k$	Точное решение	Метод левых прямоугольников		Метод правых прямоугольников		Метод трапеций (билинейное преобразование)	
	Значение $I_{исх_k}, A$	Значение $I_{Z_k,Л}, A$	Погрешность $\epsilon_{абс,Л}, A$	Значение $I_{Z_k,П}, A$	Погрешность $\epsilon_{абс,П}, A$	Значение $I_{Z_k,Т}, A$	Погрешность $\epsilon_{абс,Т}, A$
0	—	0	—	0,0909	—	0,0476	—
1	0,0484	0,1	0,0484	0,1736	-0,0425	0,1383	0,00076
2	0,1389	0,19	0,0873	0,2487	-0,0772	0,2204	0,00137
3	0,2209	0,271	0,1182	0,3170	-0,1050	0,2946	0,00185
4	0,2950	0,3439	0,1422	0,3791	-0,1269	0,3618	0,00224
5	0,3621	0,4095	0,1604	0,4355	-0,1439	0,4226	0,00253
6	0,4228	0,4686	0,1737	0,4868	-0,1566	0,4776	0,00275
7	0,4777	0,5217	0,1829	0,5335	-0,1657	0,5273	0,00290
8	0,5274	0,5695	0,1886	0,5759	-0,1718	0,5724	0,00300
9	0,5724	0,6126	0,1915	0,6145	-0,1753	0,6131	0,00305
10	0,6131	0,6513	0,1920	0,6495	-0,1766	0,6499	0,00307
11	0,6499	0,6862	0,1906	0,6814	-0,1762	0,6833	0,00305
12	0,6832	0,7176	0,1876	0,7103	-0,1744	0,7134	0,00301
13	0,7134	0,7458	0,1835	0,7367	-0,1713	0,7407	0,00296
14	0,7407	0,7712	0,1783	0,7606	-0,1673	0,7654	0,00288
15	0,7653	0,7941	0,1724	0,7824	-0,1626	0,7878	0,00279
16	0,7877	0,8147	0,1659	0,8022	-0,1573	0,8080	0,00269
17	0,8079	0,8332	0,1591	0,8201	-0,1516	0,8263	0,00259
18	0,8262	0,8499	0,1520	0,8365	-0,1456	0,8428	0,00248
19	0,8427	0,8649	0,1448	0,8514	-0,1394	0,8578	0,00237
20	0,8577	0,8784	0,1376	0,8649	-0,1331	0,8713	0,00226
21	0,8712	0,8906	0,1304	0,8772	-0,1267	0,8836	0,00214
22	0,8835	0,9015	0,1233	0,8883	-0,1204	0,8947	0,00203
23	0,8946	0,9114	0,1163	0,8985	-0,1142	0,9047	0,00192
24	0,9046	0,9202	0,1095	0,9077	-0,1081	0,9138	0,00182
25	0,9137	0,9282	0,1030	0,9161	-0,1021	0,9220	0,00171
26	0,9219	0,9354	0,0966	0,9237	-0,0963	0,9294	0,00161
27	0,9293	0,9419	0,0906	0,9307	-0,0907	0,9361	0,00151
28	0,9360	0,9477	0,0848	0,9370	-0,0853	0,9422	0,00142
29	0,9421	0,9529	0,0792	0,9427	-0,0802	0,9477	0,00133
30	0,9476	0,9576	0,0740	0,9479	-0,0752	0,9527	0,00124

Представим изменение накопленной абсолютной погрешности аппроксимации  $\epsilon_{абс}$  каждого из методов в течение времени переходного процесса в полулогарифмическом масштабе на рис. 2.

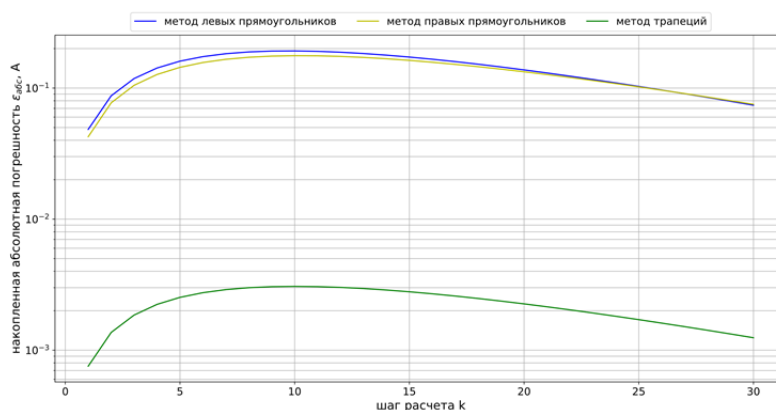


Рис. 2. Накопленная абсолютная погрешность методов аппроксимации оператора  $p$  в полулогарифмическом масштабе за время переходного процесса

Сравнительный анализ методов аппроксимации оператора Лапласа  $p$  позволяет сделать вывод, что метод Тастина обеспечивает большую точность по сравнению с методами левой и правой разности. Порядок ошибки метода Тастина –  $10^{-3}$ , порядок ошибки методов левой и правой разности –  $10^{-1}$ .

Выводы:

1. Переход от моделей в непрерывном времени к цифровым моделям динамических систем имеет ряд преимуществ: отстройка от шумов в аналоговых регуляторах на операционных усилителях, простота реализации на цифровых устройствах. Применение распространённого инженерного способа перехода от математического описания динамических систем в непрерывном времени к описанию в дискретном времени, метода аналоговых прототипов, всегда сопровождается потерей точности математической модели. Синтез цифровых моделей данным способом накладывает существенные ограничения на минимальную частоту дискретизации. Невыполнение теоремы Котельникова-Шеннона применительно к выбору периода дискретизации приводит к некорректной работе цифровой модели и потере ее фундаментальных свойств. Построение цифровой модели динамической системы всегда связано с поиском компромисса между необходимой точностью и сложностью вычислений.

2. Метод аналоговых прототипов подразумевает применение  $z$ -преобразования к аналоговым фильтрам для получения цифровых. Для большинства инженерных задач при соблюдении рекомендаций по выбору шага дискретизации может быть рекомендован метод Тастина (билинейного преобразования), обеспечивающий как сохранение гарантированной устойчивости цифрового фильтра, так и более высокую точность аппроксимации по сравнению с методами левой и правой разности.

### Список литературы

1. Strogatz, Steven H. Nonlinear dynamics and chaos: with application to physics, biology, chemistry, and engineering / Steven H. Strogatz. – New York: Perseus Books Publishing, L.L.C., 1994. – 504 p. – Direct text.

2. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупков, Н.Д. Егупова. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 656 с. – Текст: непосредственный.

3. Глазырин, А.С. Динамическая идентификация параметров объекта управления электропривода на основе разностных схем / А.С. Глазырин. – Текст: непосредственный // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 42–48.

4. Белодедов, М.В. Методы проектирования цифровых фильтров: Учебное пособие / М.В. Белодедов. – Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета, 2005. – 64 с. – Текст: непосредственный.

5. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А.С. Анучин. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с. – Текст: непосредственный.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Китаев Д.С.<sup>1</sup>, Дранников А.В.<sup>2</sup>, Домбровская Я.П.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>магистр, гр. Мм-231

E-mail: kitaevdm01@mail.ru;

<sup>2</sup>профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств

E-mail: drannikov@list.ru;

<sup>3</sup>доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств

E-mail: yana\_dombrovskaya@inbox.ru;

Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

Пищевая промышленность играет важную роль в обеспечении населения продуктами питания, а также в поддержании высоких стандартов качества и безопасности пищевых продуктов. Современные технологии существенно изменили производство и обработку пищевых товаров, и одним из значимых направлений инноваций в этой сфере являются мехатронные системы. Мехатроника объединяет знания и методы механики, электроники и информатики, что позволяет создавать сложные системы, состоящие из механических компонентов, электронных устройств и программного обеспечения.

Мехатронная система – совокупность нескольких мехатронных модулей и узлов, синергетическим объединением связанных между собой для выполнения конкретной функциональной задачи. [1].

Мехатронный модуль – это функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программной интеграцией составляющих его устройств, имеющих различную физическую природу. Мехатронные модули по составу объединяемых устройств и элементов можно подразделить на три группы (рис. 1):

- модули движения;
- мехатронные модули движения;
- интеллектуальные мехатронные модули. [2].

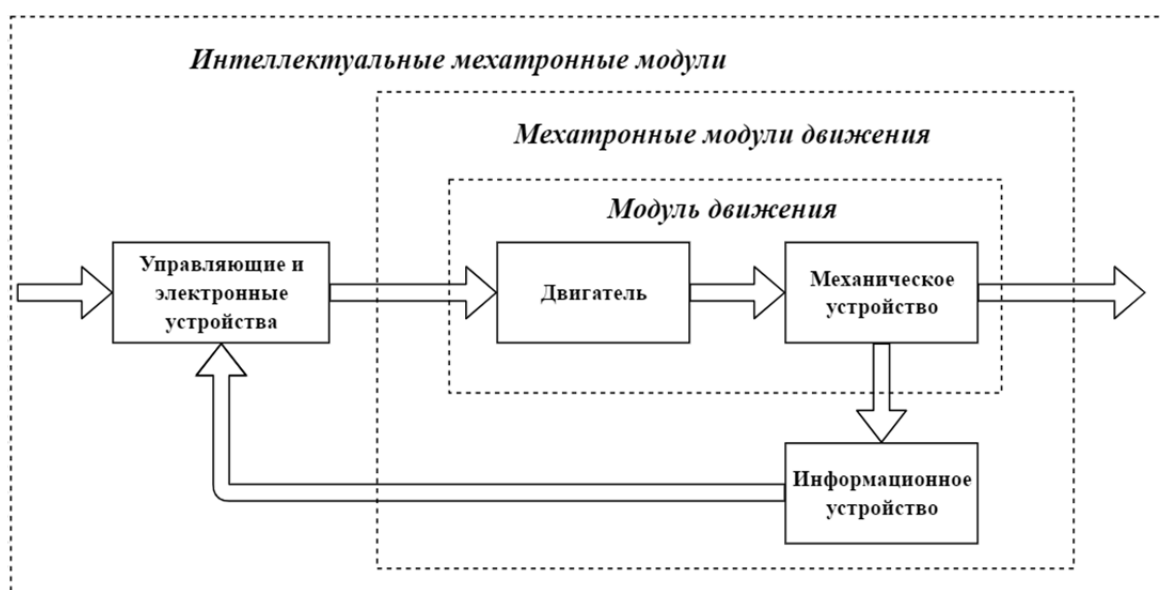


Рис. 1. Схема классификации мехатронных модулей

Одним из основных преимуществ использования мехатронных модулей является интеграция различных технологий в одном устройстве. Это позволяет сократить время на разработку и производство, а также снизить издержки при поддержке и обслуживании оборудования.

Мехатронные системы широко применяются в пищевой промышленности в следующих областях:

1. Автоматизация производства. Упаковочные линии с мехатронными компонентами выполняют множество задач, таких как упаковка, сортировка, маркировка, паллетирование, фасовка, резка и нанесение жидкостей на твердые поверхности (часто используется для украшения продукции). Роботы-пикеры и конвейеры с автоматической сортировкой оптимизируют процессы упаковки и помогают снизить количество отходов [3];

2. Контроль качества. Мехатронные системы играют ключевую роль в системах контроля качества продукции. С использованием датчиков и компьютерного зрения можно автоматически обнаруживать дефекты, измерять размеры и вес продуктов, а также следить за соответствием стандартам безопасности [4];

3. Энергоэффективность. Мехатронные системы позволяют управлять энергопотреблением оборудования в реальном времени, оптимизируя его работу и уменьшая потребление энергии.

Мехатроника является неотъемлемой частью современной пищевой промышленности. Она обеспечивает автоматизацию, контроль качества и безопасность производства, а также повышает его эффективность. Благодаря мехатронике предприятия могут улучшить свою производительность и конкурентоспособность, а также гарантировать высокое качество продукции. Развитие мехатронных систем будет продолжаться в пищевой промышленности, способствуя улучшению процессов и предложению потребителям лучших продуктов.

В процессе производства комбикормов, важно правильно дозировать и смешивать различные компоненты, такие как зерно, мука, витамины и минералы, для создания качественного и сбалансированного продукта. Точность и равномерность дозировки играют особую роль в конечном качестве комбикорма. Традиционные методы дозирования, основанные на ручной работе или простых механических системах, не всегда обеспечивают достаточную точность.

Проблемы точности и равномерности дозировки компонентов при производстве комбикормов решаются с помощью использования мехатронных систем. Эти системы автоматизируют процесс дозирования и смешивания, обеспечивая высокую точность дозирования компонентов, исключают человеческий фактор, а также снижают удельные энергозатраты на получение готового продукта. Благодаря контролирующим датчикам и специальному программному обеспечению можно наблюдать за процессом на каждом этапе и корректировать его для достижения необходимой дозировки компонентов.

Кроме того, мехатронные системы позволяют легко настраивать и изменять рецептуры комбикорма в соответствии с требованиями заказчика или изменениями на рынке. С помощью специального программного обеспечения можно сохранять различные рецептуры и легко переключаться между ними, что экономит время и упрощает производственный процесс.

### **Список литературы**

1. Камлюк В.С., Камлюк Д.В. Мехатронные модули и системы в технологическом оборудовании для микроэлектроники: учебное пособие. – Минск: РИПО, 2016. – 383 с.

2. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие. – Москва: Машиностроение, 2006. – 256 с.

3. Печерский, Д.К. Робототехнические системы в пищевой промышленности / Д.К. Печерский, Н.А. Забенкова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 6 (348). – С. 29–31. – URL: <https://moluch.ru/archive/348/78415/>.

4. Печерский, Д.К. Использование методов компьютерного зрения для улучшения качества продукции пищевых предприятий / Д.К. Печерский, Н.А. Забенкова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 6 (348). – С. 27–29. – URL: <https://moluch.ru/archive/348/78414/>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШИМ-МОДУЛЯЦИИ В АВТОНОМНОМ ИНВЕРТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРЕДМОДУЛЯЦИИ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ

*Кладиев, С.Н. к.т.н., доцент.,  
Тимошкин В.В., к.т.н., доцент.,  
Языков Н.Е., соискатель  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: ney1@tpu.ru*

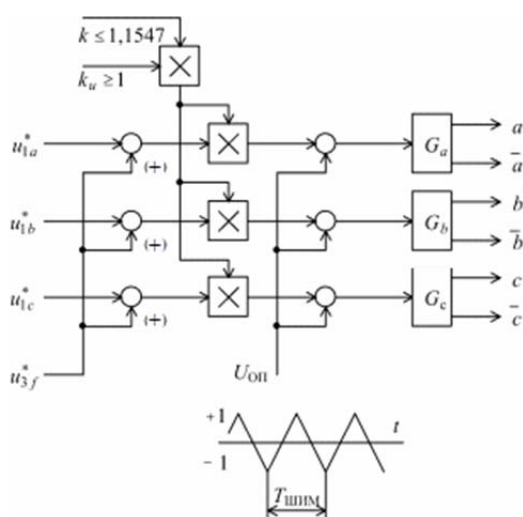
Современный частотно-регулируемый асинхронный электропривод, как правило, содержит двухзвенный преобразователь частоты (ПЧ) с неуправляемым выпрямителем или управляемым вентильным преобразователем, работающим с постоянными, малыми углами регулирования и инвертирования. Выпрямитель нагружен на автономный инвертор напряжения, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Такая структура ПЧ позволяет обеспечить высокий коэффициент мощности силовой цепи независимо от режима работы электропривода, а при реализации законов частотного векторного управления достичь наилучших динамических и статических показателей регулирования [1].

Если формировать линейные напряжения трехфазной системы из напряжения звена постоянного тока с помощью ШИМ по синусоидальному закону, то их максимальная амплитуда получается меньше значения напряжения в звене постоянного тока.

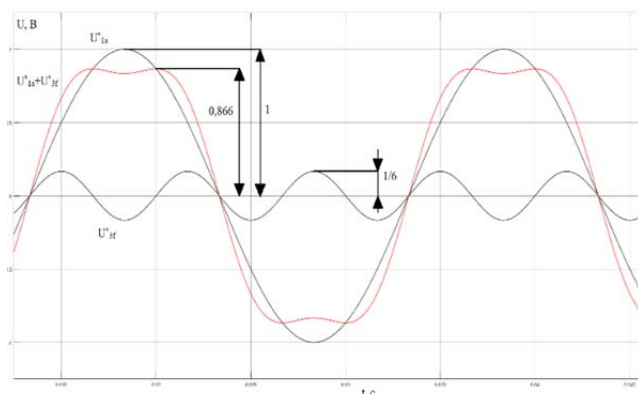
При единичном напряжении звена постоянного тока максимальная амплитуда линейных напряжений составляет 0,866 В. То есть при преобразовании происходит недоиспользование напряжения звена постоянного тока примерно на 14 %.

Это вредное явление приводит к потере момента двигателя, обычно рассчитанного на полное напряжение сети, и неоптимальному использованию высоковольтных элементов силовой схемы (IGBT-ключей, высоковольтных конденсаторов) [2].

Один из способов позволяющий лучше использовать напряжение звена постоянного тока является предмодуляцией третьей гармоники (рис. 1, 2).



*Рис. 1. Синусоидальная ШИМ преобразователя частоты с введением третьей гармоники сигналы управления инвертором*



*Рис. 2. Форма сигнала управления при введении третьей гармоники*

Получим и сравним переходные процессы в системе ПЧ-АД при прямом пуске, при использовании стандартной ШИМ и при использовании ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники (рис. 3–6).



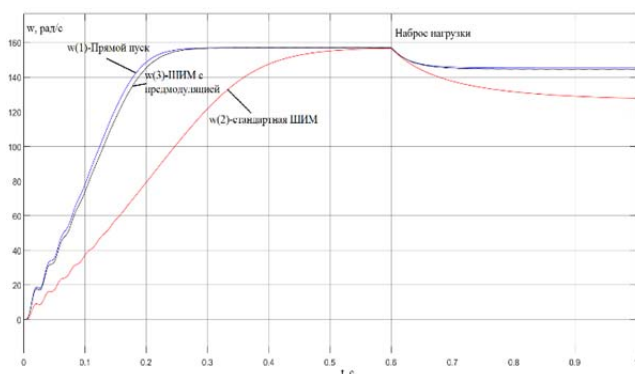


Рис. 3. Переходные процессы по скорости для прямого пуска, стандартной ШИМ и ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники

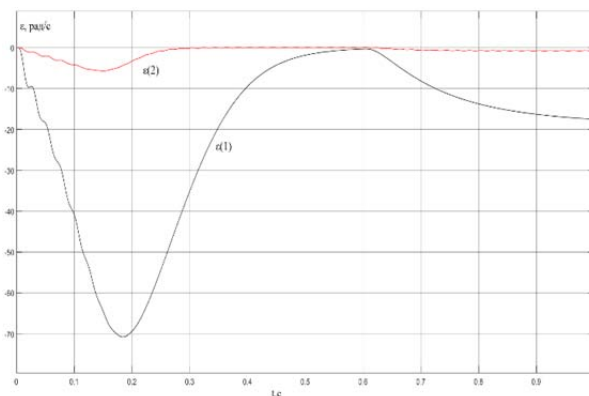


Рис. 4. Динамическое рассогласование по скорости:

$\varepsilon(1)$  – рассогласование между прямым пуском и стандартной ШИМ  
 $\varepsilon(2)$  – рассогласование между прямым пуском и ШИМ с предмодуляцией

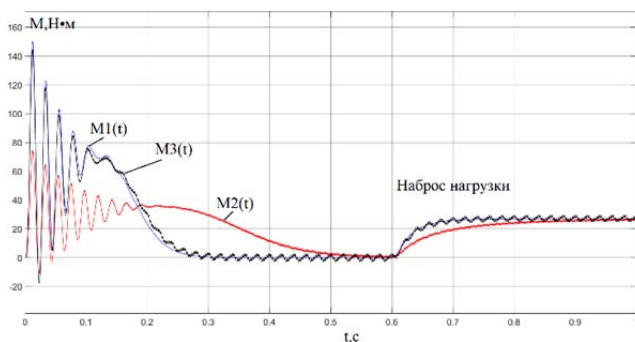


Рис. 5. Переходные процессы по моменту для прямого пуска, стандартной ШИМ и ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники

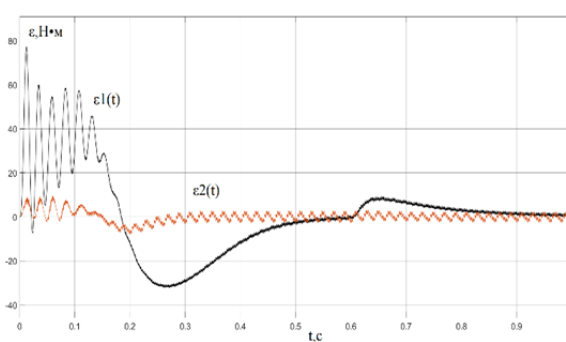


Рис. 6. Динамическое рассогласование по моменту:

$\varepsilon(1)$  – рассогласование между прямым пуском и стандартной ШИМ  
 $\varepsilon(2)$  – рассогласование между прямым пуском и ШИМ с предмодуляцией

По полученным графикам отчетливо видно, насколько сильно использование ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники снижает потерю напряжения при преобразовании, в следствие чего уменьшается проседание по скорости и момента двигателя как при пуске в холостую, так и при набросе нагрузки, что благоприятно скажется на общем КПД системы.

### Выводы

1. Результаты моделирования показали, что без предмодуляции происходит снижения амплитуды первой гармоники напряжения.
2. Уменьшение напряжения, подаваемого на статорные обмотки, приводит к снижению момента у асинхронного двигателя, что оказывает влияние как на статические, так и на динамические характеристики.

### Список литературы

1. Дементьев Ю.Н., Негодин К.Н., Кояин Н.В., Удут Л.С. Система управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией трехфазного инвертора при частотном скалярном управлении асинхронным двигателем // Известия вузов. Электромеханика. – 2016. – Т. 546. – № 4. – С. 49–54.
2. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика) // Методическое пособие. М.: ЭФО, 2013. – С. 53–55.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Томилин А.К.<sup>1</sup>, Ануфриев М.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор,

E-mail: aktomilin@tpu.ru

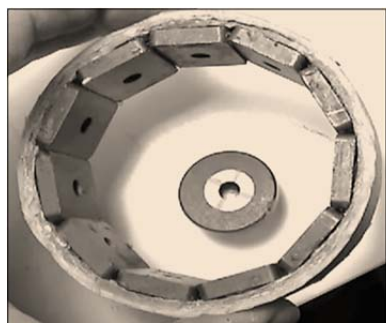
<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШПР, гр. 2Е11,

E-mail: mda7@tpu.ru

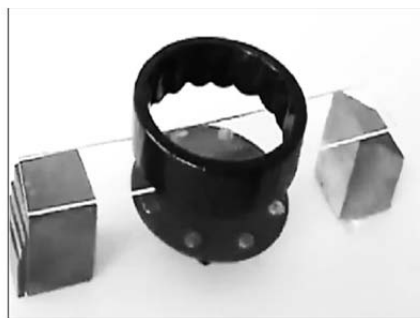
Известно несколько типов установок, в которых происходит постоянное вращение намагниченного ротора в магнитном поле статора из постоянных магнитов. Статор представляет собой кольцо из диэлектрического материала, внутри которого размещены постоянные магниты, северные полюсы которых обращены внутрь кольца. Динамика ротора в таких установках на первый взгляд представляется парадоксальной: затруднение вызывает определение магнитных сил и моментов, действующих на ротор. Кроме того, авторы этих изобретений часто называют их вечными двигателями. Понятно, что для научного объяснения динамики подобных двигателей на постоянных магнитах необходимо применить адекватные идеи, объясняющие наблюдаемое в экспериментах вращение ротора, определить временной ресурс работы и спроектировать систему управления движением ротора. Решение этих задач позволит создать компактные электрические машины различного назначения, не требующие подключения к электропитанию и стабильно работающие в течение определенного временного ресурса.

Современная электродинамика представляет магнитное поле сугубо вихревым. В ней используются силы Ампера и Лоренца, которые всегда ортогональны току. Однако, в трактате А.-М. Ампера «Электродинамика» [1] описаны два эксперимента, в которых проявляется магнитная сила, направленная вдоль токнесущего проводника. Продольная электромагнитная сила проявляется в электрическом контуре, включающем подвижные проводники. Исследование условий возникновения и теоретическое описание продольного электромагнитного взаимодействия привело к созданию обобщенной электродинамической теории, которая развивается с середины XX века [2, 3]. Система дифференциальных уравнений обобщенной электродинамики получена независимо несколькими авторами [4–8]. Основная идея, лежащая в основе обобщенной теории, заключается в представлении характеристик магнитного поля четырехмерными векторами или кватернионами [9]. Такая теория позволяет описывать электромагнитные поля сложных электродинамических систем, образованных многими контурами с током или постоянными магнитами. Примерами сложных электромагнитных систем могут служить электрические машины, состоящие из множества постоянных магнитов.

Цель исследования заключается в изучении конфигурации магнитного поля кольцевого статора и определении магнитных сил и моментов, действующих на дискообразный ротор с аксиальной намагниченностью. Кроме того, необходимо оценить временной ресурс работы такого двигателя.



а)



б)

Рис. 1. Примеры экспериментальных магнитных двигателей

Видеоролики с описанием действующих устройств выложены на различных видеохостингах, таких как YouTube. Данные устройства разделяются на два типа по конструкции ротора: 1) кольцевой магнит (рис. 1, а); 2) пластинка с расположенными на ней плоскими круглыми магнитами (рис. 1, б). Ротор имеет либо закрепленную ось, либо шарнирно-подвижную опору. Чаще всего эти конструкции называют «шлюзами Бедина или Хэмела», полагая, что их можно использовать как источники энергии.

Исследуем магнитное поле, индуцированное кольцевым статором из постоянных магнитов, обращенных северными полюсами внутрь (рис. 2).

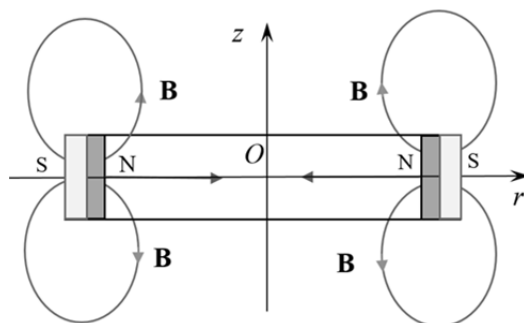


Рис. 2. Схема вихревого магнитного поля кольцевого статора

Обратим внимание на векторы магнитной индукции  $\mathbf{B}$ , расположенные в плоскости симметрии. Они направлены к центру  $O$  окружности, образованной статором. Но там нет магнитного полюса, на который они могли бы замкнуться, поэтому, возникает вихревая компонента вектора  $\mathbf{B}$  (рис.3а). Силовые линии закручиваются по спирали, растянутой вдоль вертикальной оси, и замыкаются на южные полюсы, расположенные на боковой поверхности статора (рис. 3б). Направление вращения магнитных линий определяется в результате случайно возникающей асимметрии.

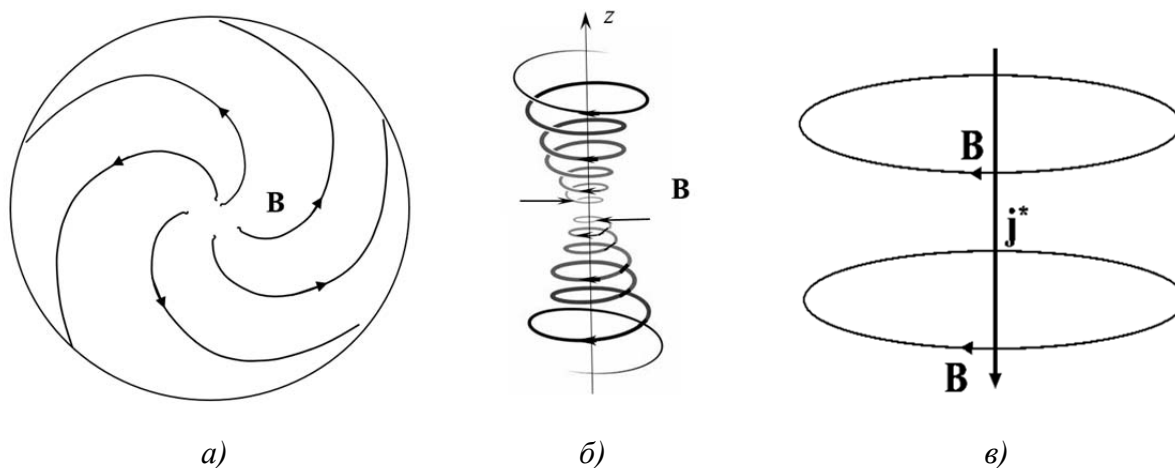


Рис. 3. Осевое завихрение магнитного поля статора

Отдельно рассмотрим круговую компоненту магнитного поля. Заметим, что магнитные силовые линии имеют одинаковое направление закручивания в верхней и нижней частях системы (рис. 3, б). Такое магнитное поле соответствует току, направленному в нашем случае вдоль оси  $Oz$  вниз (рис. 3, в).

Поскольку этот моделирующий ток не является бесконечным, он создает скалярное магнитное поле (СМП) [3], которое условно изображено на рис. 4 с учетом знаков двух его областей. СМП характеризуется скалярными функциями индукции  $B^*$  (Тл) и напряженности  $H^*$  (А·м). Важно заметить, что СМП по своей сути всегда является неоднородным, поэтому нужно определить его градиент. На рис. 3, в он совпадает по направлению с моделирующим током  $\mathbf{j}$ .

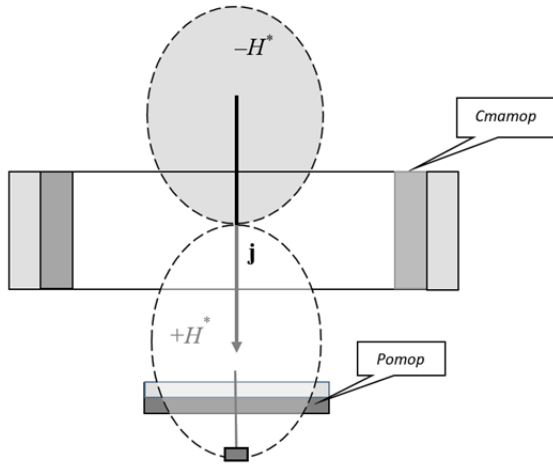


Рис. 4. Скалярное магнитное поле статора

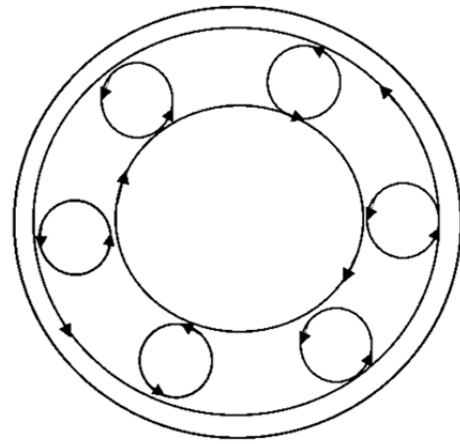


Рис. 5. Моделирующие токи ротора

Далее рассмотрим ротор. Он может быть собран из отдельных плоских магнитов с аксиальной намагниченностью. Каждый магнит можно представить кольцевым током. Если объединить все эти токи, то получим два кольцевых тока со взаимно противоположным направлением (рис. 5). В некоторых установках ротор представляет собой единый кольцевой магнит, который также моделируется двумя круговыми токами со взаимно противоположным направлением.

Поскольку ротор находится во внешнем СМП, на его круговые токи действуют электромагнитные силы, плотность которых определяется в соответствие с обобщенным законом электромагнитного взаимодействия [3]:

$$\mathbf{f}^* = B^* (\mathbf{j}_\perp - \mathbf{j}_\parallel), \quad (1)$$

где  $B^*$  – индукция внешнего СМП,  $\mathbf{j}_\perp$  – плотность токов, направленных в данной точке ортогонально градиенту внешнего СМП,  $\mathbf{j}_\parallel$  – плотность токов, которые располагаются на линии градиента внешнего СМП.

Если ротор находится в СМП, которое распределено строго осесимметрично относительно ротора, то градиент СМП имеет радиальное направление. В этом случае для моделирующих токов ротора

$$\mathbf{j}_\parallel = 0, \text{ и } \mathbf{j}_\perp = \mathbf{j}. \quad (2)$$

Как показано в монографии [3] замкнутый ток в целом собственного СМП не создает, поэтому он не взаимодействует с осесимметричным внешним СМП:

$$\mathbf{f}^* = \mathbf{j}B^* = 0.$$

Поэтому при совпадении вертикальных осей симметрии статора и ротора движения нет, что и наблюдается в эксперименте. Для вращения ротора необходима некоторая асимметрия в распределении СМП относительно его центра.

В этом случае внешнее СМП действует на некотором участке кругового тока (рис.6), который имеет собственное СМП, при этом возникает продольная магнитная сила,

$$\mathbf{f}^* = \mathbf{j}B^* \neq 0, \quad (3)$$

момент которой вызывает вращение ротора:

$$\mathbf{M}_z^* = \int_V (\mathbf{r} \times \mathbf{f}^*) dV.$$

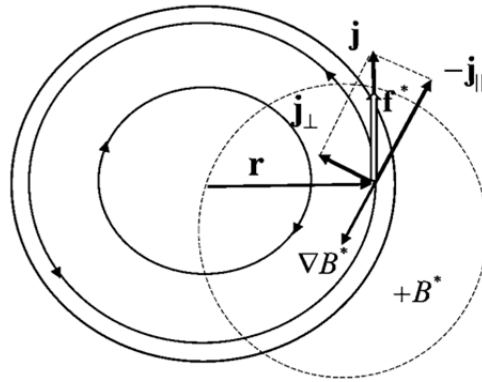


Рис. 6. Возникновение продольной магнитной силы

Продольную магнитную силу (1) можно назвать силой Ампера-Николаева, поскольку впервые ее обнаружил А.-М. Ампер [1], а Г.В. Николаев [2] установил условия проявления, объяснил ее физическую суть и предложил теоретическое описание.

Далее встает вопрос об источнике энергии, приводящей ротор в движение. Очевидно, что здесь используется энергия намагничивания, «закачанная» в магниты. В процессе работы они размагничиваются, так как имеются встречно направленные магнитные поля. Энергия СМП расходуется на совершение работы по преодолению моментов диссипативных сил, возникающих при вращении ротора. Можно оценить время работы такого двигателя из условия баланса потраченной энергии намагничивания, и работы моментов диссипативных сил. Аналогичная задача решена в статье [10].

Можно предложить два способа оценки временного ресурса такой магнитной установки. Первый способ: пусть за время  $T_{1/2}$  энергия намагничивания уменьшается в два раза ( $\Delta W_{1/2}$ ) при постоянном вращении ротора с угловой скоростью  $\omega$ . Момент диссипативных сил  $M_d$  в лабораторной установке можно определить экспериментально. Тогда период «полуразрядки» магнитной системы можно оценить по формуле

$$T_{1/2} = \frac{\Delta W_{1/2}}{M_d \omega}. \quad (4)$$

Во втором способе плоский магнит моделируется замкнутым током  $I$  соответствующей формы. В результате энергия системы магнитов с общим объемом  $V$  и относительной проницаемостью  $\mu'$  определяется по формуле:

$$W = \frac{B^2 V}{2\mu' \mu_0}.$$

Из условия энергетического баланса получаем выражение для периода «полуразрядки» магнитов:

$$T_{1/2} = \frac{B^2 V}{4\mu' \mu_0 M_d \omega}. \quad (5)$$

Авторами доклада изготовлена действующая лабораторная установка со следующими параметрами:

$$\Delta W_{1/2} = 0,6 \text{ Дж}; \quad \omega = 5 \text{ с}^{-1}; \quad M_d = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad B \approx 1,2 \text{ Тл}, \quad V = 18 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3, \quad \mu' = 1,05.$$

Результаты расчетов по формулам (4) и (5) практически совпадают:  $T_{1/2} \approx 280$  суток. Ресурс непрерывной работы установки можно оценить примерно в 1 год.

К сожалению, такие двигатели не являются вечными, они не позволяют «качать» энергию эфира, как предполагают некоторые авторы подобных изобретений. Однако, они

могут иметь полезное практическое применение: можно создать малогабаритные электрические машины без подключения к источникам энергии. Их преимущества: автономность, электробезопасность, экологичность, компактность в отсутствие батарей или аккумуляторов. К недостаткам следует отнести ограниченный временной ресурс работы. Однако в условиях малой диссипации, например, в безвоздушном пространстве, подобные машины, как показывают расчеты, могут работать в течение нескольких лет. При проектировании таких машин встает актуальная задача управления их работой. Как показано в настоящем исследовании, в качестве управляющего фактора следует использовать расстояние между осями симметрии статора и ротора.

### Список литературы

1. Ампер А.-М. Электродинамика. М.: АН СССР, 1954. – 434 с.
2. Николаев Г.В.. Современная электродинамика и причины её парадоксальности. Томск, «Твердыня», 2003. – 149 с.
3. Томилин А.К. Обобщенная электродинамика. М., «Триумф», 2020. – 300 с. DOI: 10.32986/978-5-93673-270-6-2020-04
4. Ohmura T. A new formulation on the electromagnetic field. Prog. Theor. Phys., 1956, Vol. 16. –P. 684–685.
5. Хворостенко Н.П. Продольные электромагнитные волны. Изв. вузов. Физика, 1992, № 3. – С. 24–29.
6. Van Vlaenderen K.J., Waser A. Generalization of classical electrodynamics to admit a scalar field and longitudinal waves. Hadronic Journal, 2001, 24. – 609–628.
7. Woodside D.A. Three-vector and scalar field identities and uniqueness theorems in Euclidean and Minkowski spaces. Am. J. Phys. 2009, 77(5). – P. 438–446.
8. Arbab A.I., Satti Z.A. On the Generalized Maxwell Equations and Their Prediction of Electroscalar Wave. Progress in physics, 2009, v. 2. – P. 8–13.
9. Alexeyeva L.A. Biquaternionic Model of Electro-Gravimagnetic Field, Charges and Currents. Law of Inertia. Journal of Modern Physics, 2016, № 7. – P. 435–444.
10. Томилин А.К., Аксенова Н.В., Шевчук А.С. Анализ одного «вечного» двигателя. Молодой ученый, 2015, № 10 (90). С. 330–333. URL: <https://moluch.ru/archive/90/19021>

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОЙКИ СРЕДСТВАМИ ПЛК

Куренбин А.А., Прорехин Е.Е.  
НИ ТПУ, ИШЭ, 5А07,  
E-mail: aak241@tpu.ru

Многие предприятия, на которых стоит задача обеспечения чистоты изготавливаемых или обрабатываемых деталей, используют для этих целей устройства ультразвуковой очистки в жидкости [1]. Данные устройства представляют собой отдельные модули, которые могут быть объединены в моечные линии, если процесс очистки включает несколько этапов. Современные производители оборудования для ультразвуковой мойки предлагают большой выбор полностью автоматизированных линий очистки [2]. Такие линии требуют от оператора только загрузки заготовок и задания программы мойки. Весь последующий процесс проходит автоматически. Но на многих небольших предприятиях до сих пор установлены линии ручной мойки, на которых оператор вручную осуществляет запуск каждого процесса и перенос заготовок из одного модуля в другой. Такой подход имеет ряд недостатков, в числе которых несоблюдение стерильности процесса и негативное влияние ультразвука на организм.

Так как установка новых автоматизированных линий требует больших финансовых затрат, предлагается автоматизировать имеющиеся линии с помощью общедоступных средств (PLC-контроллера и исполнительных устройств в виде шаговых двигателей).

## Проект автоматизации процесса мойки

Разработка данного алгоритма осуществляется на примере процесса очистки фрез при подготовке к нанесению PVD-покрытия. В качестве исполнительного устройства, задающего движение каретки вдоль кран-балки (перенос заготовок из модуля в модуль), используется шаговый двигатель ШД1. В качестве исполнительного устройства, задающего движение вверх и вниз (погружение, подъем и встряхивание заготовок) – шаговый двигатель ШД2. Алгоритм программируется на любом PLC-контроллере, совместимом с МЭК 61131-3. Далее описывается алгоритм работы автоматической системы. На рис. 1 представлена функциональная схема проекта.

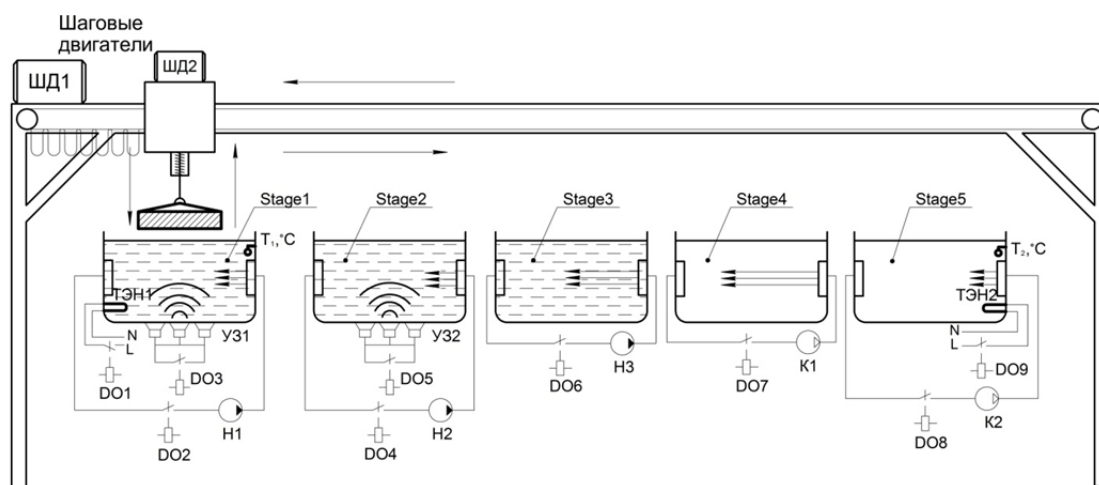


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированной линии

На первом этапе, Stage1 (ультразвуковая мойка в ванне с горячей водой и добавлением препарата для обезжиривания металла), реле DO1 включает нагреватель ТЭН1, реле DO2 запускает насос Н1 для циркуляции воды. Датчик  $T_1$  контролирует поддержание заданной температуры. Двигатель ШД1 подводит оснастку с заготовками к первой ванне. Двигатель ШД2 опускает заготовки в воду, несколько раз встряхивает, устанавливает оснастку в ванне, устройство захвата поднимается. Реле DO3 запускает ультразвуковой излучатель УЗ1 и таймер. По истечении заданного времени УЗ1 отключается выходом



DO1, ТЭН1 и Н1 отключаются выходом DO2 и DO3 соответственно. Устройство захвата вынимает оснастку из ванны, двигатель ШД1 переносит её в следующий модуль.

Второй этап – Stage2. Реле DO4 запускает насос для циркуляции воды Н2. Двигатель ШД2 опускает заготовки в воду, несколько раз встряхивает, устанавливает оснастку в ванне, устройство захвата поднимается. Реле DO5 запускает ультразвуковой излучатель УЗ2 и таймер. По истечении заданного времени УЗ2 и Н2 отключаются выходом DO4 и DO5 соответственно, устройство захвата вынимает оснастку из ванны, двигатель ШД1 переносит её в следующий модуль.

Третий этап – Stage3 (ополаскивание в дистиллированной воде). Реле DO6 запускает насос Н3, генерирующий струи в объеме жидкости, двигатель ШД2 опускает заготовки в воду, устройство захвата поднимается. Запускается таймер. По истечении заданного времени насос Н2 отключается выходом DO6, устройство захвата вынимает оснастку из ванны, двигатель ШД1 переносит её в следующий модуль.

Четвертый этап – Stage4 (удаление влаги потоком воздуха). Двигатель ШД2 опускает заготовки в модуль, устройство захвата поднимается. Реле DO7 запускает компрессор К1, запускает таймер. По истечении времени компрессор К1 отключается выходом DO7, устройство захвата поднимает оснастку из модуля, двигатель ШД1 переносит её в следующий модуль.

Завершающий этап – Stage5 (сушка горячим воздухом). Реле DO9 включает нагреватель ТЭН2, реле DO8 запускает компрессор К2. Датчик Т<sub>2</sub> контролирует поддержание заданной температуры. Двигатель ШД2 опускает заготовки в модуль, устройство захвата поднимается, запускается таймер. По истечении времени компрессор К2 и нагреватель ТЭН 2 отключаются выходом DO8 и DO9 соответственно, устройство захвата поднимает оснастку из модуля, звучит сигнал об окончании процесса.

На рис. 2 представлен алгоритм описанной программы в стандарте МЭК 61131-3.

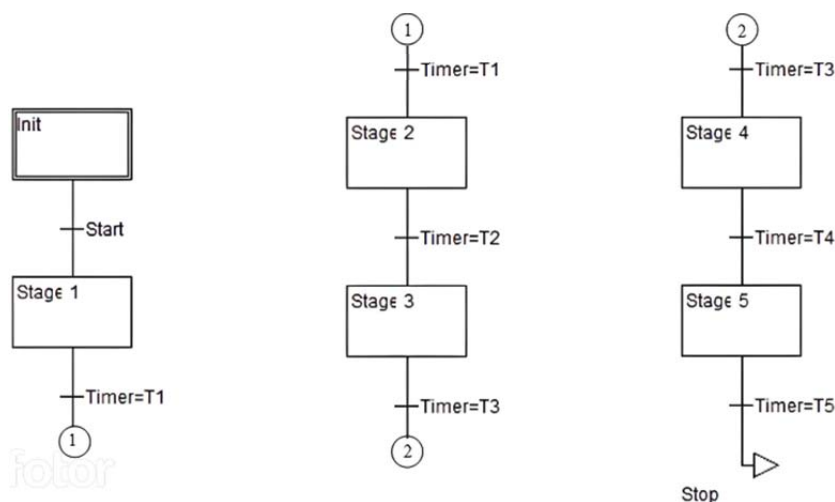


Рис. 2. Алгоритм работы программы

Автоматизация процесса ультразвуковой мойки позволяет сделать автоматизированную систему средствами PLC-контроллеров, программируемых в формате МЭК, и добавлением исполнительных устройств. Технологический процесс, производимый оператором линии вручную, легко укладывается в алгоритмический язык программы SCF. Реализация предложенной идеи позволит при небольших вложениях повысить эргономичность производства и улучшить качество выпускаемой продукции.

### Список литературы

1. Кудряшов М.Б. Автоматизация технологического процесса ультразвуковой очистки деталей на промышленном предприятии: дис. – Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т), 2005.
2. Аверкиев Е.А., Ратова М.А. Анализ основных типов моечных машин и ультразвуковых установок // Студенческая наука и XXI век. – 2017. – № 15. – С. 15–17.

## РОЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Бирченко Д.А., студент  
НИ ТПУ*

Конечно, тема электропривода в аддитивных технологиях, довольно интересное и актуальное направление.

### Введение в аддитивные технологии

Прежде чем мы погрузимся в детали электроприводов, давайте рассмотрим, что такое аддитивные технологии. Аддитивное производство, также известное как 3D-печать, представляет собой процесс создания объектов путем наслаивания материала в последовательных слоях, что делает возможным производство сложных деталей с уникальными характеристиками. Этот процесс является прорывом в промышленности, потому что он позволяет создавать предметы, которые ранее было трудно или невозможно изготовить с использованием традиционных методов производства.

### Роль электропривода в аддитивных технологиях

Электропривод играет важную роль в работе аддитивных технологий. Он отвечает за движение и позиционирование инструментов, стола или платформы, на которую наносится материал во время процесса печати.

Электроприводы используются в различных типах аддитивных технологий, таких как Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), Selective Laser Sintering (SLS), и других. Они обеспечивают точное управление движением, что критически важно для получения высококачественных и точных деталей.

### Преимущества электропривода в аддитивных технологиях

Использование электроприводов в аддитивных технологиях предоставляет несколько значительных преимуществ:

#### 1. Точное управление

Электроприводы обеспечивают высокую точность и повторяемость движения, что позволяет создавать детали с высокой степенью детализации.

#### 2. Гибкость проектирования

Благодаря возможности точного управления электроприводами, аддитивные технологии позволяют создавать сложные геометрические формы, которые ранее было сложно или невозможно реализовать.

#### 3. Увеличение производительности

Электроприводы способствуют увеличению скорости и эффективности процесса печати, что в свою очередь повышает производительность аддитивного производства.

#### 4. Экономия энергии

Современные электроприводы обладают высокой эффективностью преобразования энергии, что способствует экономии электроэнергии и снижает эксплуатационные расходы.

### Технологии электропривода в аддитивном производстве

Существует несколько типов электроприводов, которые нашли применение в аддитивном производстве. Рассмотрим некоторые из них:

#### 1. Шаговые двигатели

Шаговые двигатели широко используются в 3D-принтерах и других устройствах аддитивного производства, потому что они обеспечивают точное позиционирование и простоту управления. Они идеально подходят для приложений, где требуется точное шаговое движение.

#### 2. Серводвигатели

Серводвигатели также нашли свое применение в аддитивном производстве благодаря своей способности обеспечивать высокую точность, скорость и момент.

#### 3. Линейные приводы

В некоторых 3D-принтерах используются линейные приводы для обеспечения линейного движения по осям X, Y и Z.

#### Развитие технологий

Технологии электропривода в аддитивных технологиях постоянно развиваются. Производители постоянно работают над улучшением эффективности, точности и надежности электроприводов, что в конечном итоге способствует повышению качества и производительности аддитивного производства.

#### Особенности и вызовы

Не смотря на все преимущества, есть определенные особенности и вызовы, связанные с использованием электроприводов в аддитивных технологиях.

Одной из особых особенностей является необходимость высокой точности перемещения и контроля движения при работе с маленькими деталями и сложной геометрией. Это требует тщательной настройки и калибровки электроприводов, а также использования специализированных алгоритмов управления.

Одним из вызовов является также вопрос обеспечения надежной работы электроприводов в условиях повышенной температуры и влажности, что может представлять проблему при работе в производственной среде.

#### Заключение

В мире аддитивных технологий роль электропривода весьма значительна. Он обеспечивает точное позиционирование и движение, что является основой для создания высококачественных и сложных деталей. При этом существует постоянная работа над улучшением технологий и преодолением вызовов, что позволяет аддитивному производству становиться все более эффективным и конкурентоспособным.

#### Список литературы

1. Андреев В.В. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / В.В. Андреев, А.К. Побочка. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 176 с.
2. Генералов Г.Н. Аддитивные технологии в промышленности: учебное пособие / Г.Н. Генералов, О.В. Захарова, В.М. Лашук. – М.: Электронное издательство МАИ, 2018. – 341 с.
3. Иванов П. Перспективы применения электропривода в аддитивных технологиях. – Москва: Издательство «Наука», 2012.
4. Лебедев В. Анализ эффективности электропривода в аддитивных технологиях. – Москва: Издательство «Энергоатомиздат», 2009.

## МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНОГО СТОЛИКА МИКРОСКОПА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

*Гейс О.Ю., студент гр. 8ТМ22,  
Филипас А.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой – руководитель отделения  
автоматизации и робототехники на правах кафедры  
E-mail: oyg2@tpu.ru*

Разработана мехатронная система позиционирования предметного столика оптического прямого бинокулярного/тринокулярного микроскопа с цифровой камерой, программным управлением и системой распознавания и классификации распознанных микрообъектов в задачах определения дисперсного состава водонефтяных эмульсий (ВНЭ), количественного и качественного определения физических параметров глобул нефти ВНЭ. Сформировано техническое задание (ТЗ), по которому определены основные параметры системы.

Целью работы являются проектирование и разработка моторизованного комплекта для микроскопа. Используются методы САПР конструкции предметного столика, навесного оборудования и электромеханических узлов, жестко закрепленных на предметном столике микроскопа с учетом взаимного расположения компонентов, прочностных характеристик материалов и геометрических параметров деталей устройства. Учитывались параметры электроприводов (шаговых двигателей) и реечных косозубых передач. Описаны и спроектированы программные алгоритмы для автоматизированного управления исполнительными механизмами, создан прототип приложения для ЭВМ с целью операторного контроля и управления, получения данных с цифровой камеры, работы системы фильтров цифровых изображений, алгоритмов распознавания и классификации распознанных микрообъектов.

Система функционирует в трех режимах. Первый – ручное управление (ручной режим), предполагающее управление исключительно усилиями оператора без возможности использования программных алгоритмов управления и исключительно для визуальной оценки количественных характеристик пробы.

В полуавтоматическом режиме оператор имеет возможность управлять процессом позиционирования пробы на конкретном поле зрения для локального отслеживания визуальных параметров пробы, проводить точечные эксперименты.

В автоматическом режиме оператору доступен весь функционал интеллектуальной системы оценки, при этом ход эксперимента осуществляется без прямого участия оператора таким образом, что система (по заранее заданным настройкам, полученным от оператора) выстраивает оптимальную по времени протекания эксперимента траекторию движения предметного столика относительно взора камеры, проходя точки центров полей зрения с автоматическим фокусированием с некоторой задержкой по времени для получения кадра активного поля зрения. После активной фазы эксперимента, система фильтров (по уже полученной серии микрофотографий) убирает шумы и нижние частоты, увеличивая резкость границ двумерных проекций глобул нефти на изображении, а после – сегментирует обработанные кадры для искусственной нейронной сети (ИНС) распознавания. Программный модуль, отвечающий за классификацию распознанных микрообъектов, распределяет объекты в зависимости от начальных настроек и разбивает значения эффективных диаметров по нескольким группам. После этого, полученные сгруппированные выборки автоматически экспортируются в формат электронных таблиц (.xlsx) для дальнейшего анализа оператором. На этом ход эксперимента



*Рис. 5. Сборка прототипа мехатронной системы при помощи САПР*

считается завершенным. При использовании автоматического режима работы оператор лишается возможности каким-либо образом повлиять на ход проведения эксперимента, а выступает лишь в качестве ревизора и верификатора экспортированных данных после завершения эксперимента.

Стоит отметить, что при использовании любого режима, оператору доступны основные настройки системы: настройки камеры и управления, диалогового окна приложения и визуализации, настроек эксперимента при переходе из одного режима в другой.

Описанный опытно-промышленный образец системы потенциально способен эксплуатироваться в мобильных лабораториях на производстве в качестве модуля автоматизированного анализатора проб дисперсного состава ВНЭ.

Механическая система устройства обладает 3-мя поступательными степенями свободы (по одной на каждую из осей прямоугольной системы координат в пространстве), за счет чего предметный столик с пробой позиционируется в конкретной точке пространства и перемещается прямолинейно только вдоль координатных осей в состоянии отсутствия вращательного движения.

В рамках работ по проектированию системы была спроектирована подробная математическая имитационная модель системы, схема которой изображена на рис. 2.

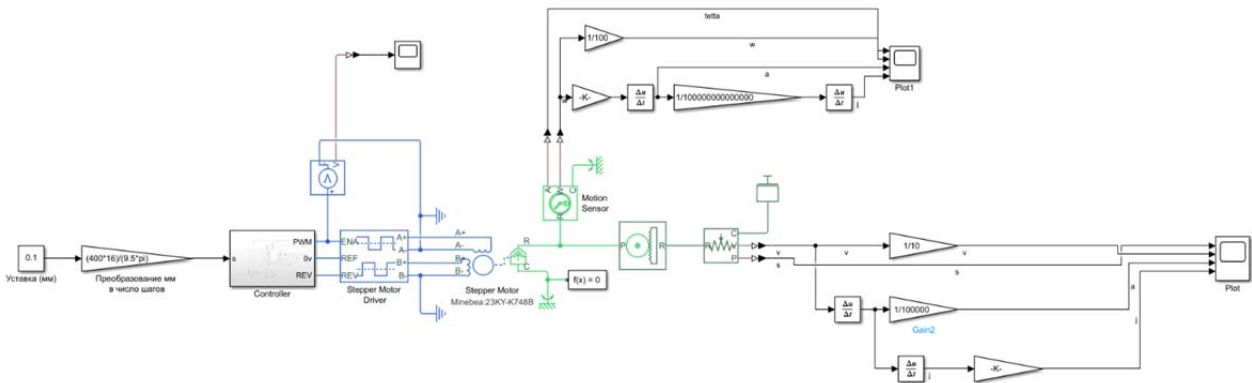


Рис. 2. Схема имитационной математической модели

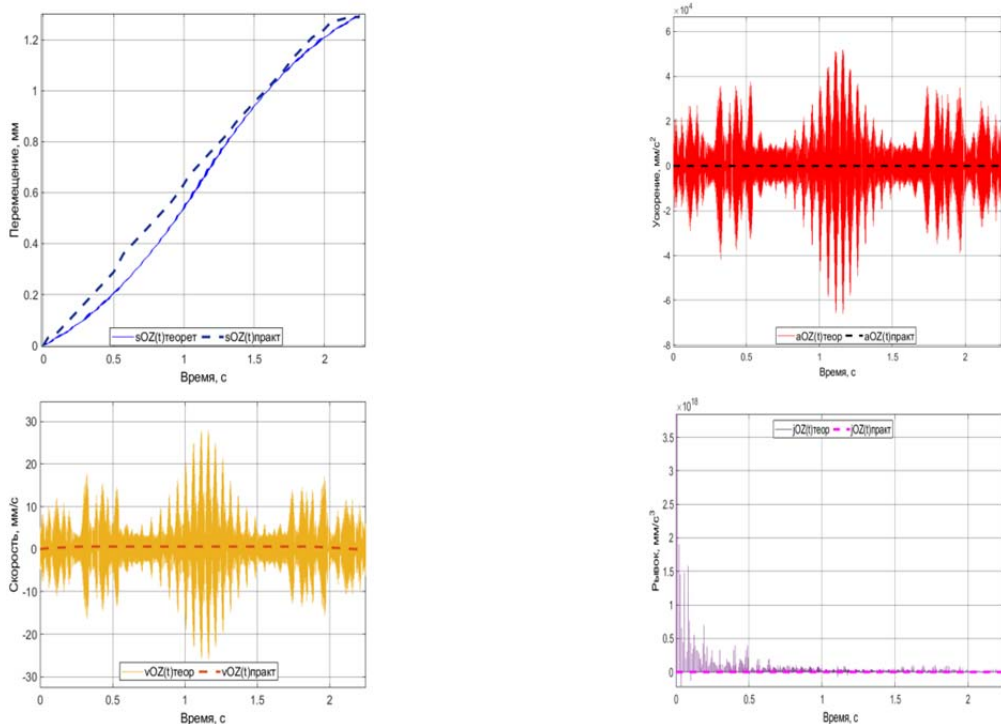


Рис. 3. Теоретические графики перемещения  $s(t)$ , скорости  $v(t)$ , ускорения  $a(t)$  и рывка  $j(t)$  предметного столика (одна координатная ось)

Модель позволяет оценить моделируемое поведение системы и процесс позиционирования при уставке по конечной позиции, а также оценить дополнительные параметры скорости, ускорения и рывка. Работа моторизационного комплекта осуществляется при помощи программного преобразования подаваемых пользователем команд через графический интерфейс управления в формат G-код команд по стандарту ГОСТ 20999-83. В результате синтеза и дальнейшего анализа полученных экспериментальных данных в ходе тестовых запусков системы, были определены основные характеристики системы путем сопоставления теоретических и экспериментальных графиков (перемещения  $s(t)$ , скорости  $v(t)$ , ускорения  $a(t)$  и рывка  $j(t)$  на рис. 3). Анализ проводился исключительно для одной координатной оси, поскольку целью тестового запуска является, в первую очередь, проверка работоспособности всей системы в целом, первичная оценка точности и плавности перемещения.

В перспективе будут учтены и взаимные перемещения по нескольким координатам одновременно, поскольку предполагается использовать траектории перемещения по различным координатам.

Поставленные задачи исследования были реализованы частично, поскольку мехатронная система, описанная в работе, отвечает практически всем требованиям ТЗ. Полностью спроектирована конструкция устройства и электромеханических узлов. Написанные программы для платы на базе микроконтроллера целостную логику для автоматизированного управления исполнительными механизмами устройства. Разработанное приложение для ЭВМ при помощи подключаемых библиотек для реализации работы программных алгоритмов работы, анализа, распознавания и классификации, делают систему интеллектуальной, точной и лишенной человеческого фактора. Проведенные тестовые запуски предварительно собранных узлов показали наличие ошибок в работе. Мероприятия по устранению отладке ведутся в настоящее время.

### Список литературы

1. Филипас А.А. Прототипирование автоматизированного устройства оптической диагностики дисперсного состава скважинной жидкости / А.А. Филипас, А.В. Цавнин, О.Ю. Гейс // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 22–26 марта 2021 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – [С. 447–448].
2. Филипас А.А. Разработка стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» / А.А. Филипас, А.В. Мигель // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 2020 г. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – [С. 216–217].
3. Филипас А.А. Определение резонансных частот шаровой капли воды в масляной среде / А.А. Филипас, Ю.Н. Исаев, А.В. Кучман // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 10. – [С. 178–185].
4. Белый Д.М., Овсянникова Н.Б. Методика решения инновационных прикладных задач механики – Ульяновск, УлГТУ, 2017 – 44 с.
5. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: учебное пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 302 с.
6. Maria C. Vlachoua, Konstantinos A. Zachariasa, Margaritis Kostogloua, Thodoris D. Karapantsiosa Droplet size distributions derived from evolution of oil fraction during phase separation of oil-in-water emulsions tracked by electrical impedance spectroscopy // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2019. – № 586.
7. D.J. Mc Clements Food Emulsions: principles, practices and techniques. – 3rd Edition. – Boca Raton: CRC Academic Press, 2015. – 714 p.
8. Таранцев К.В. Процессы создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле: автореф. дис. д-р техн. наук: 05.17.08. – ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 2019. – 35 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ ПО ДЛИНЕ КАБЕЛЯ В СИСТЕМЕ ПЧ-КЛ-ПЭД

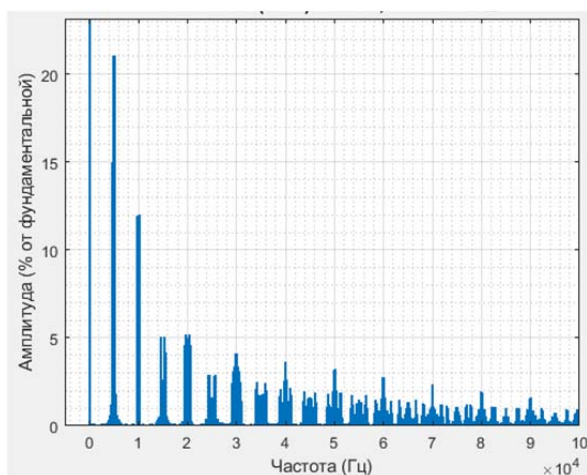
*Кладиев С.Н., к.т.н., доцент.,  
Жих С.Р., студент группы 5АМ34  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: ney1@tpu.ru*

В современном частотно-регулируемом электроприводе напряжение на фазах двигателя формируется, благодаря преобразователю частоты, в состав которого входит неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока, а также автономный инвертор, управляемый алгоритмом широтно-импульсной модуляции. В такой системе обязательно будут присутствовать пульсации напряжения, обусловленные переключениями ключей, формирующих основную гармонику напряжения.

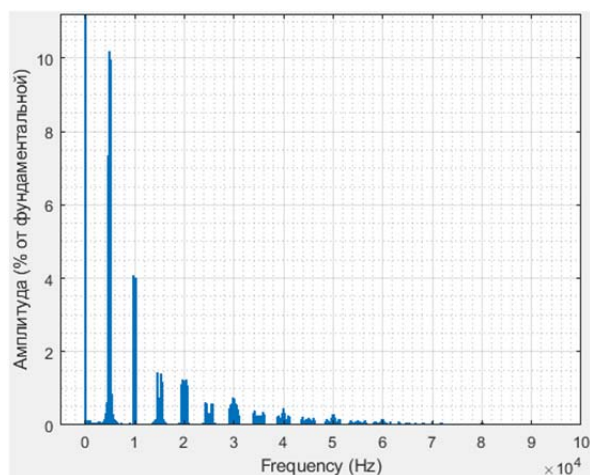
По статистике, выбирается частота ШИМ исходя из требований нагрева и шума от переключения ключей. Данная частота может меняться в достаточно больших пределах и от этого зависят также пульсации формируемых в фазах напряжений. Это приносит негативное влияние в виде пульсаций токов и моментов электродвигателя. Если рассматривать данную проблему относительно установки электроцентробежного насоса (УЭЦН), то в ней также присутствует погружной кабель, предназначенный для подводки напряжения электродвигателю в скважине и который приносит дополнительные искажения в форму напряжения. В данном исследовании предстоит исследовать спектральный состав напряжения по длине погружного кабеля, а также тока и момента погружного электродвигателя (ПЭД).

Дополнительно, в данной работе используется алгоритм векторной ШИМ, который позволяет полностью использовать напряжение в звене постоянного тока ПЧ, которое при алгоритме синусоидальной ШИМ теряется приблизительно на 13 %. Это позволяет не терять момент на валу двигателя, так как в асинхронном двигателе момент зависит от квадрата напряжения, что принесет существенные потери.

Ниже представлен спектральный состав напряжения в начале кабеля, в середине и в конце при частоте ШИМ 5кГц.



*Рис. 1. Спектральный состав напряжения  
в начале кабеля*



*Рис. 2. Спектральный состав напряжения  
в середине кабеля*



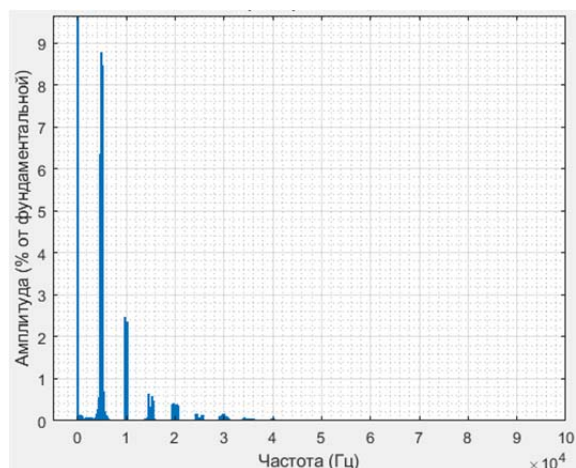


Рис 3. Спектральный состав напряжения в конце кабеля

Анализируя полученный спектральный состав, можно заметить, что на протяжении кабеля гармонический состав сужается, снижая влияние высших гармоник. Но стоит отметить, что частота ШИМ вносит существенное воздействие на спектральный состав напряжения.

На следующих графиках представлен спектральный состав момента и тока двигателя при частоте ШИМ 5 кГц.

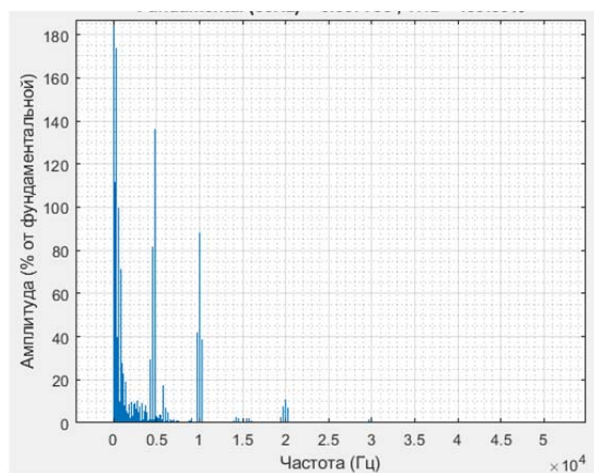


Рис 4. Спектральный состав момента при частоте ШИМ 5 кГц

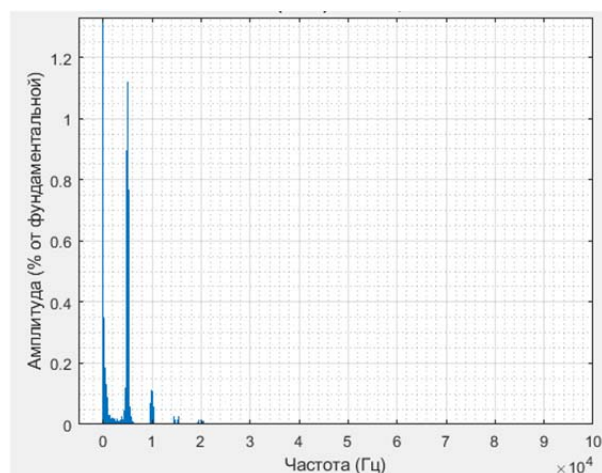


Рис 5. Спектральный состав тока при частоте ШИМ 5 кГц

По полученным графикам отчетливо видно, что гармоники, кратные частоте ШИМ, приносят существенное влияние в спектральный состав. В реальности это может нести пагубный характер на механическую систему в виде вибрации, повышая износ оборудования.

По результатам работы было выявлено существенное влияние гармоник высшего порядка на напряжение, подаваемое на двигатель, ток и момент. В дальнейшем необходимо реализовать алгоритм переключения ключей, снижающий влияние высших гармоник.

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

*Кирильчик Д.Н.*  
 НИ ТПУ, ИШЭ, А1-28,  
 E-mail: dnk12@tpu.ru

Основной методикой расчета теплового состояния электрической машины является составление тепловой схемы замещения и решение уравнений теплопроводности, в основу которых положен закон сохранения энергии. [1; 2]

$$dQ_1 + dQ_2 = dQ, \quad (1)$$

где  $dQ_1$  – количество теплоты, [Дж], введенное в элементарный объем путем теплопроводности за время;  $dQ_2$  – количество теплоты, [Дж], которое за время выделилось в элементарном объеме за счет внутренних источников;  $dQ$  – изменение внутренней энергии, [Дж], содержащегося в элементарном объеме.

Основной закон теплопроводности устанавливает количество тепла, проходящее через поверхность  $dF$  за время  $d\tau$  в зависимости от  $grad$  и свойств материала.

$$\partial \bar{q} = -\lambda grad(t), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности (теплофизическая характеристика материала), [Вт/(м·°C)].

Градиент температуры есть вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры и численно равный частной производной от температуры по этому направлению. За положительное направление градиента принимается направление возрастания температур:

$$grad(t) = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta t}{\Delta n} \right|. \quad (3)$$

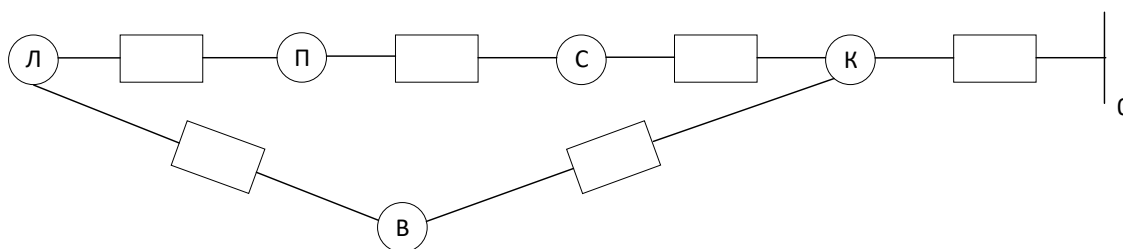
Плотность теплового потока через плоскую стенку:

$$q = \lambda(t_1 - t_2) / \delta, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, [Дж/кг·°C];  $\delta$  – толщина стенки, [м];  $t_1, t_2$  – температуры тела на границах, [°C].

Тепловая схема замещения строится по аналогии с законом Ома для электрической цепи. [2, С. 125]

Рис. 1 иллюстрирует симметрированную тепловую схему магнитоэлектрического двигателя.



*Рис. 1. Симметрированная тепловая схема замещения электродвигателя:  
 Л – суммарные потери в лобовых частях обмотки; П – потери пазовой части;  
 С – потери сердечника; К – потери корпуса; В – потери воздуха*

Результаты программного моделирования представлены на рис. 2.

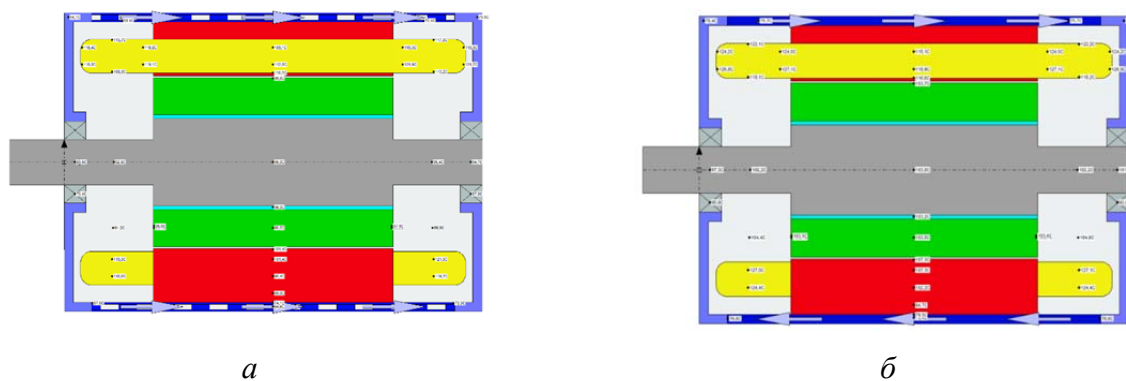


Рис. 2. Циркуляционная модель охлаждения с радиальными спиралевидными (а) и продольными (б) каналами

Устройство каналов охлаждения иллюстрирует рис. 3.

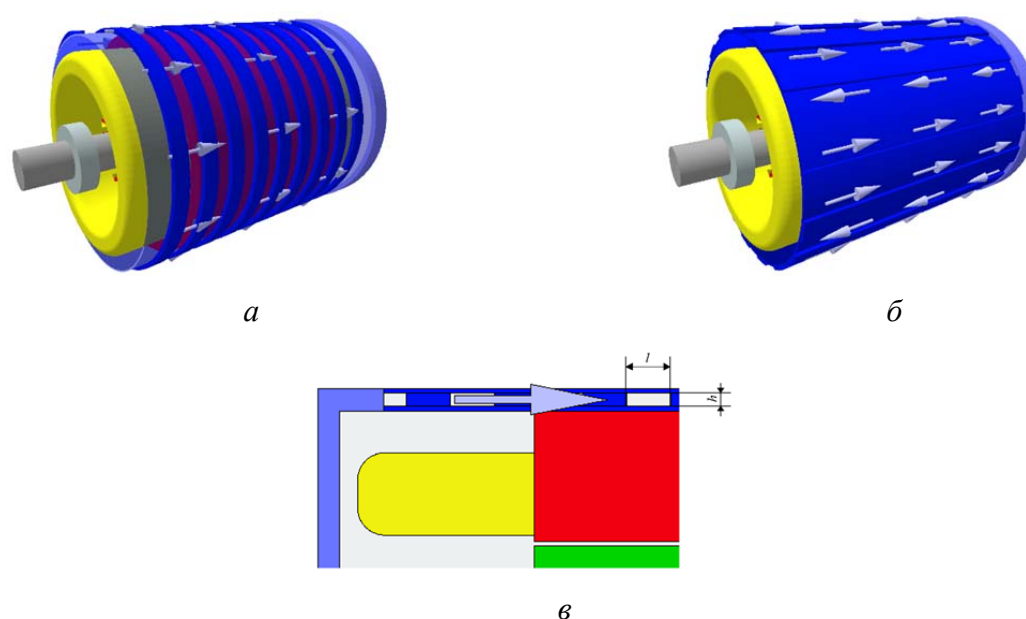


Рис. 3. Внутреннее устройство каналов охлаждения спиралевидного (а) и продольного (б) вида, а также указание наименований величин (в)

Значения температур для программных моделей, представленных с радиальным и спиралевидным исполнением каналов, а также температуры аналитической модели расчета для радиальных каналов приведены в таблице 1

Таблица 1

Сравнения температур программных и аналитической модели

Исследуемый узел	Программная модель		Аналитический расчет для радиальных каналов
	Радиальные спиралевидные каналы	Продольные каналы	
Лобовая часть	115 °С	125 °С	117,7 °С
Пазовая часть	108 °С	112 °С	110,1 °С
Магнитопровод	86,8 °С	100 °С	88,8 °С
Внутренний воздух	83,4 °С	104 °С	86,7 °С

## **Заключение**

Анализ температурного поля электродвигателя при двух конфигурациях циркуляционной системы охлаждения показывает, что при использовании продольных каналов температура узлов электрической машины возрастает на  $\approx 10 \dots 25$  %. Прежде всего, это связано с суммарной площадью поверхности теплопередачи: при одинаковых размерах каналов  $l = 10$  [мм],  $h = 3$  [мм], размеры площадей равны  $56840$  [мм<sup>2</sup>] для радиальных и  $51000$  [мм<sup>2</sup>] для продольных каналов соответственно.

Помимо этого, продольные каналы, в сравнении с радиальными, обладают конструктивным недостатком – большая сложность подвода хладагента, что скажется на массогабаритных показателях системы в целом.

## **Список литературы**

1. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учеб. для вузов по спец. «Электромеханика» / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высш. шк., 1989. – 239 с.: ил.

2. Теплопередача, вентиляционные и тепловые расчеты в электромеханике: учеб. пособие / А.В. Тюков, Т.В. Честюнина, Ю.Г. Бухгольц. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 248 с.

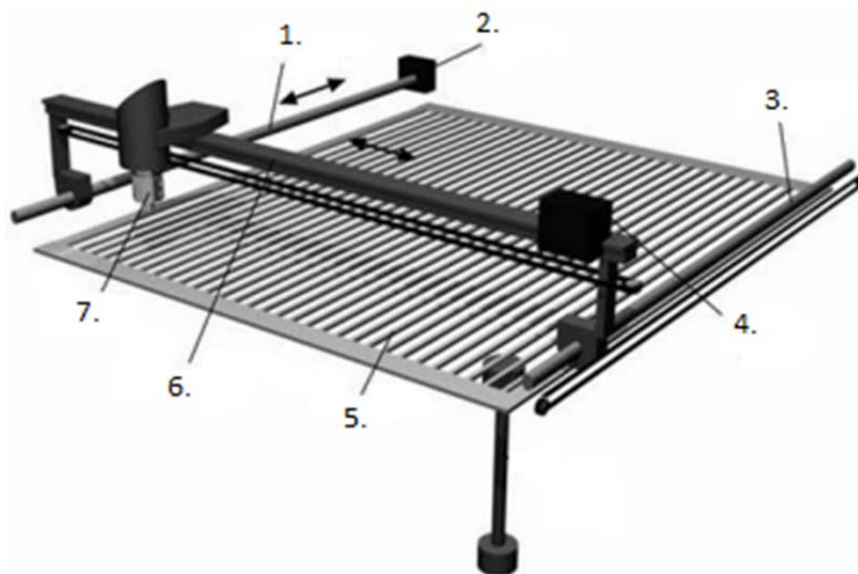
## РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДВУХКООРДИНАТНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

*Каракулов А.С., к.т.н., доц.,  
Пономарев К., студент гр. 5А07,  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: kep5@tpu.ru*

В современном мире, где конкуренция на рынке товаров и услуг постоянно растет, предприятия стремятся повысить эффективность своего производства, сократить издержки и время на изготовление продукции, а также улучшить ее качество. Одним из ключевых факторов достижения этих целей является использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Применение станков с ЧПУ позволяет снизить долю ручного труда, минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором, и упростить процесс управления станком. Кроме того, использование таких станков открывает возможности для автоматизации производства и создания гибких производственных систем, способных быстро адаптироваться к изменениям в производственном процессе или к выпуску новой продукции.

Цель работы заключается в создании двухкоординатной платформы (рис. 1), положение условного рабочего инструмента которой задается при помощи двух параллельно работающих электроприводов (ЭП), подробного описания работы, сборки и запуска. Это позволит любому желающему человеку иметь в своём распоряжении условный 3D-принтер или станок для лазерной резки.



*Рис. 1. Трёхмерная модель двухкоординатной платформы:*

*1 и 3 – направляющие по оси Y; 2 – электродвигатель 1;  
4 – электродвигатель 2; 5 – рабочий стол; 6 – направляющая по оси X; 7 – рабочий инструмент*

Основной рабочей машиной каждого ЭП является асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором, питаемый от преобразователя частоты (ПЧ). На ПЧ поступают управляющие сигналы по протоколу EtherCAT с программируемого логического контроллера (ПЛК) Raspberry PI, на котором в свою очередь установлена операционная система LinuxCNC, позволяющая принимать решения о позиционировании за наименьшее время с высокой точностью. Обратная связь реализована при помощи датчиков положения. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

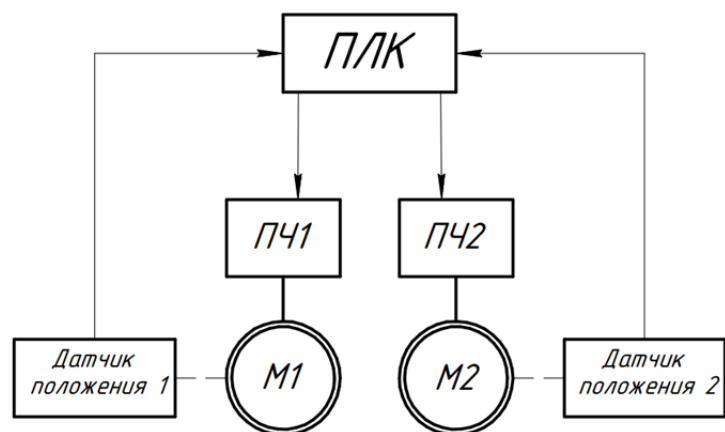


Рис. 2. Принципиальная схема

### Список литературы

1. Ловыгин А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: эльф ипр, 2006. – 322 с.
2. Москаленко В.В. Электрический привод. – 2-е изд. – М.: Академия, 2007. – ISBN 978-5-7695-2998-6.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

*Глазырин А.С., д.т.н., профессор,  
Попов С.С., аспирант группы АЗ-28,  
Набунский И.А., соискатель  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: ssp14@tpu.ru*

Настраиваемая математическая модель асинхронного двигателя (АД) является основой для построения бездатчикового векторного электропривода. Модель должна отражать реальные физические процессы, происходящие в АД. Исследования процессов идентификации и оценивания особенно актуальны, если для бездатчикового электропривода характерен режим ненормальной работы с широким диапазоном регулирования. В таком случае, настраиваемые математические модели АД, используемые при номинальном режиме работы, могут быть некорректны в той или иной степени.

Для описания динамических процессов, происходящих в АД с учетом общепринятых допущений, используется метод пространственных векторов. Пространственный вектор описывается в одной из систем координат. Выбор конкретной системы координат осуществляется при стадии разработки электропривода.

Векторы тока статора  $\vec{I}_1$  и потокосцепления ротора  $\vec{\Psi}_2$  (рис. 1) синхронно вращаются относительно трехфазной естественной статорной системы  $a, b, c$  с круговой частотой  $2\pi f_1$  фазных напряжений  $u_{1A}, u_{1B}, u_{1C}$  [1]. Векторы описываются соответствующими проекциями на координатные. Сдвиг по фазе между векторами  $\vec{I}_1$  и  $\vec{\Psi}_2$  изменяется при работе АД. По закону Ленца векторным произведением этих векторов является электромагнитный момент АД.

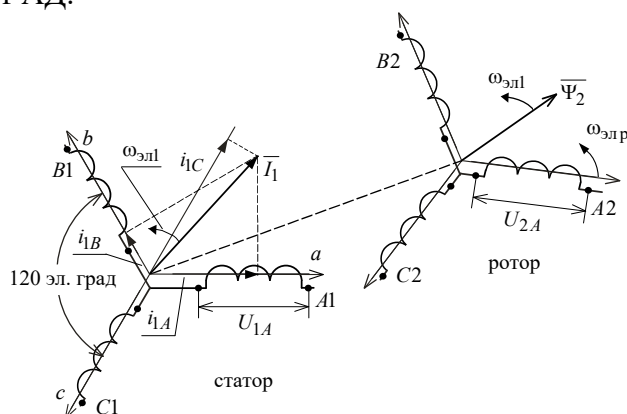


Рис. 1. Схема трехфазной асинхронной машины

Для упрощения математического анализа трехфазную машину заменяют на эквивалентную двухфазную с учетом поправочного коэффициента для соблюдения баланса мощности. Ось  $\alpha$  неподвижной системы координат выбирают так, чтобы она совпала с осью  $a$  естественной трехфазной системы.

В этом случае, при использовании неподвижной, жестко связанной со статором системы координат  $\alpha, \beta$ , векторы тока статора  $\vec{I}_1$  и потокосцепления ротора раскладываются на составляющие по осям  $\alpha, \beta$ .

На основании закона Ампера, уравнениях электрического равновесия и вращательного движения запишем модель АД в виде системы дифференциальных уравнений в неподвижной, жестко связанной со статором системе координат  $\alpha, \beta$ . В нормальной форме Коши выделим слева производные от переменных состояния АД, а справа функции правых частей в общем виде:



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{1\alpha}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega)}{dt} = f_{i_{1\alpha}}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega), \\ \frac{di_{1\beta}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega)}{dt} = f_{i_{1\beta}}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega), \\ \frac{d\Psi_{2\alpha}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega)}{dt} = f_{\Psi_{2\alpha}}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega), \\ \frac{d\Psi_{2\beta}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega)}{dt} = f_{\Psi_{2\beta}}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega), \\ \frac{d\omega(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega)}{dt} = f_{\omega}(t, i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}, \omega), \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $i_{1\alpha}(t, \dots, \omega)$ ,  $i_{1\beta}(t, \dots, \omega)$  – соответствующие мгновенные составляющие по осям  $\alpha$ ,  $\beta$  в неподвижной системе координат вектора  $\vec{I}_1$ ;  $\Psi_{2\alpha}(t, \dots, \omega)$ ,  $\Psi_{2\beta}(t, \dots, \omega)$  – вектора  $\vec{\Psi}_2$ ;  $\omega(t, \dots, \omega)$  – мгновенное значение частоты вращения АД.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{1m}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega)}{dt} = f_{i_{1m}}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega), \\ \frac{d\text{Tan}_{i_1}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega)}{dt} = f_{\text{Tan}_{i_1}}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega), \\ \frac{d\Psi_{2m}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega)}{dt} = f_{\Psi_{2m}}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega), \\ \frac{d\text{Tan}_{\Psi_2}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega)}{dt} = f_{\text{Tan}_{\Psi_2}}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega), \\ \frac{d\omega(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega)}{dt} = f_{\omega}(t, i_{1m}, \text{Tan}_{i_1}, \Psi_{2m}, \text{Tan}_{\Psi_2}, \omega), \end{array} \right.$$

где  $i_{1m}(t, \dots, \omega)$  – модуль вектора тока статора;  $\text{Tan}_{i_1}(t, \dots, \omega)$  – тангенс фазы вектора тока статора;  $\Psi_{2m}(t, \dots, \omega)$  – модуль вектора потокосцепления ротора;  $\text{Tan}_{\Psi_2}(t, \dots, \omega)$  – тангенс фазы вектора потокосцепления ротора.

Пространственные векторы можно разложить в любой системе координат, в том числе и полярной. В таком случае векторы описываются полярными координатами – модулем вектора и его фазой. Полярные координаты можно получить тригонометрическими соотношениями с помощью декартовых координат – проекциями по осям  $\alpha$ ,  $\beta$  (предполагается, что нулевой луч полярной системы совпадает с осью  $\alpha$ ):

$$i_{1m}(t) = \sqrt{i_{1\alpha}^2(t) + i_{1\beta}^2(t)}, \quad \text{Tan}_{i_1}(t) = \frac{i_{1\beta}(t)}{i_{1\alpha}(t)} \quad (2)$$

Переход (2) из ортогональной неподвижной системы координат  $\alpha$ ,  $\beta$  в полярную систему справедлив для составляющих любого пространственного вектора, в том числе и  $\vec{\Psi}_2$ . Фактически, соотношение (2) также справедливо для функций правых частей системы уравнений.

### Список литературы

1. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 354 с.

## СНИЖЕНИЕ МЕЖКОММУТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА В БДПТ

*Ульянов Д.И., аспирант*  
*Научный руководитель: Гарганеев А.Г.*  
*НИ ТПУ*  
E-mail: diu3@tpu.ru

Важнейшим требованием, выдвигаемым к современным электроприводам (ЭП), является улучшение их виброшумовых характеристик. Почти всегда шум и вибрация вызываются одними и теми же причинами, существуют одновременно и определенным образом связаны друг с другом. Вибрация – это механические колебания машин и механизмов, характеризующиеся такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение [1].

В электрических машинах вибрация возникает из-за пульсаций электромагнитного момента, которые, в свою очередь, порождают колебания ротора и всей механической системы, связанной с ротором. При векторном управлении пульсации электромагнитного момента возникают в основном по двум причинам: пульсации магнитной индукции в воздушном зазоре над полюсами, вызванные наличием высших гармонических составляющих (как пространственных, так и временных) в электромагнитном поле и нестабильность угла  $\alpha$  между вектором магнитного поля ротора и статора [2].

Пульсации момента, возникающие от нестабильности угла  $\alpha$  между вектором магнитного поля ротора и статора, зависят от качества и настройки используемого датчика положения, и от скорости обработки контроллером сигнала с датчика. В таком случае, точность определения положения ротора будет не одинакова на различных скоростях вращения, и с увеличением скорости вращения ротора будут увеличиваться и пульсации электромагнитного момента.

В бесколлекторном двигателе постоянного тока (БДПТ), работающем по сигналам с трёх цифровых датчиков Холла, положение ротора определяется лишь 6 раз на пару полюсов, что даёт информацию о направлении вектора магнитного поля ротора с точностью в 60 электрических градусов. В отношении к пульсациям электромагнитного момента это имеет как свои плюсы, так и минусы. К плюсам можно отнести простоту обработки сигналов: при работе БДПТ контроллеру не нужно производить никаких математических вычислений, поэтому точность определения положения ротора практически не зависит от скорости вращения ротора. Однако отсюда следует и существенный недостаток: слишком большой шаг фиксации положения ротора ( $60^\circ$ ) создаёт пульсации момента при синусоидальном изменении результирующего магнитного потока, которые могут достигать 25 %. Отсюда следует, что для снижения пульсаций момента, электродвигатель должен обладать такой магнитной системой, которая бы обеспечивала постоянство результирующего магнитного потока в «слепом» диапазоне [3].

Данное исследование направлено на поиск магнитной системы БДПТ с минимальными пульсациями электромагнитного момента. После множества итераций было установлено, что оптимальное количество пазов на полюс и фазу ( $q$ ) в БДПТ равно 1.

На рис. 1 представлена магнитная система с 12 пазами статора и 4 полюсами на роторе.

Данная конфигурация имеет трапецеидальное изменение результирующего магнитного потока, поэтому при работе электродвигателя напряжение подводится к фазам, витки которой уже пронизаны установившимся значением магнитного потока ротора. После коммутации в работающих фазах значение тока и потока поддерживается практически неизменным вплоть до следующей коммутации через 60 электрических градусов. Следовательно пульсации электромагнитного момента в межкоммутационный период снижаются (в данном случае 7,2 %). На рис. 2 представлен график изменения электромагнитного момента магнитной системы без скоса пазов.

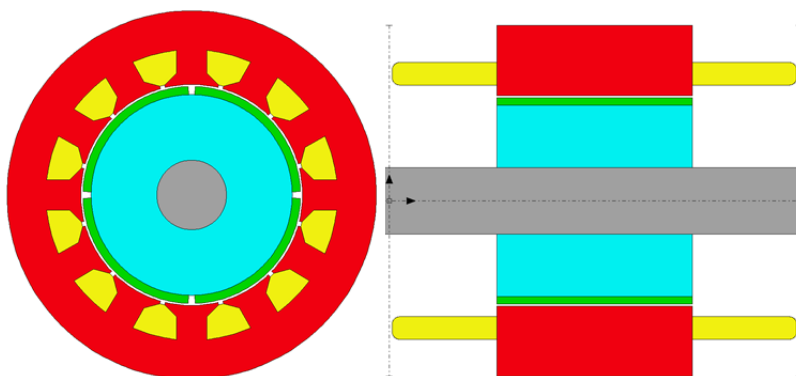


Рис. 1. Конфигурация магнитной системы БДПТ без скоса пазов

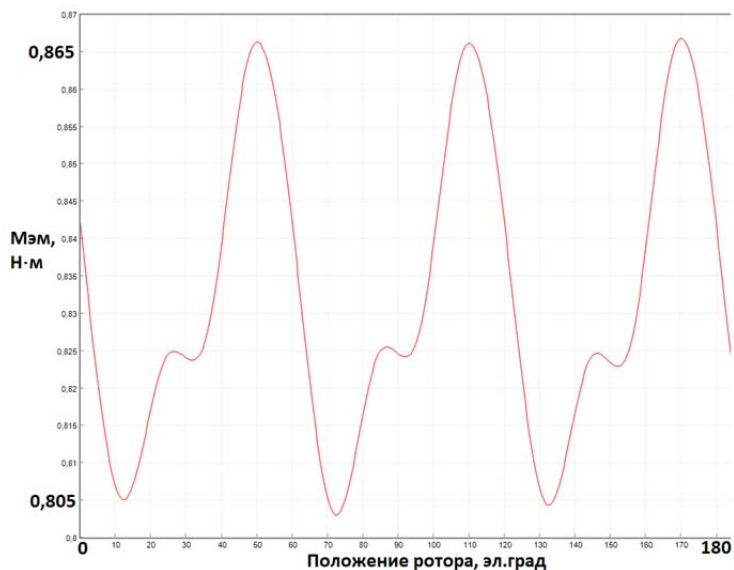


Рис. 2. График изменения электромагнитного момента магнитной системы без скоса пазов

Также она имеет простую технологию изготовления, не требующую ни скоса пазов на статоре, ни сегментацию магнитов в осевом направлении на роторе со скосом, однако, у такой конфигурации присутствует относительно большой вылет лобовых частей обмотки статора, что негативно сказывается как на габаритах машины, так и на энергоэффективности при её эксплуатации.

На рис. 3 представлена магнитная система с 24 пазами статора и 8 полюсами на роторе.

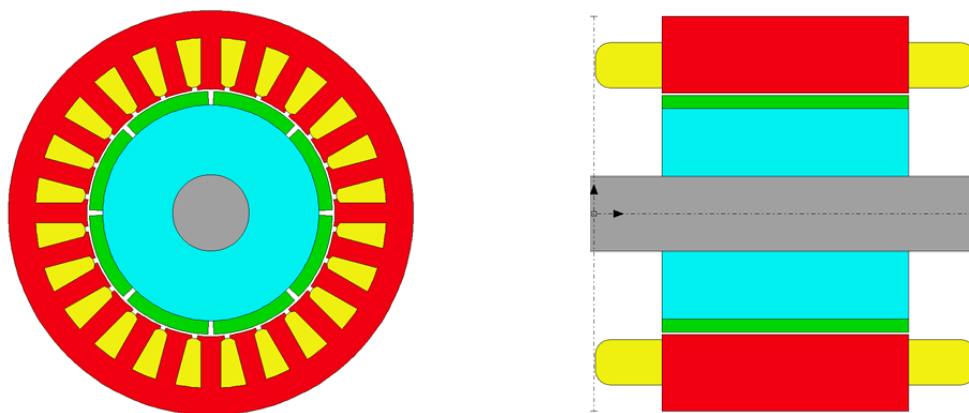


Рис. 3. Конфигурация магнитной системы БДПТ со скосом пазов на 15°

На рис. 4 представлен график изменения электромагнитного момента магнитной системы со скосом пазов на статоре на 15°.

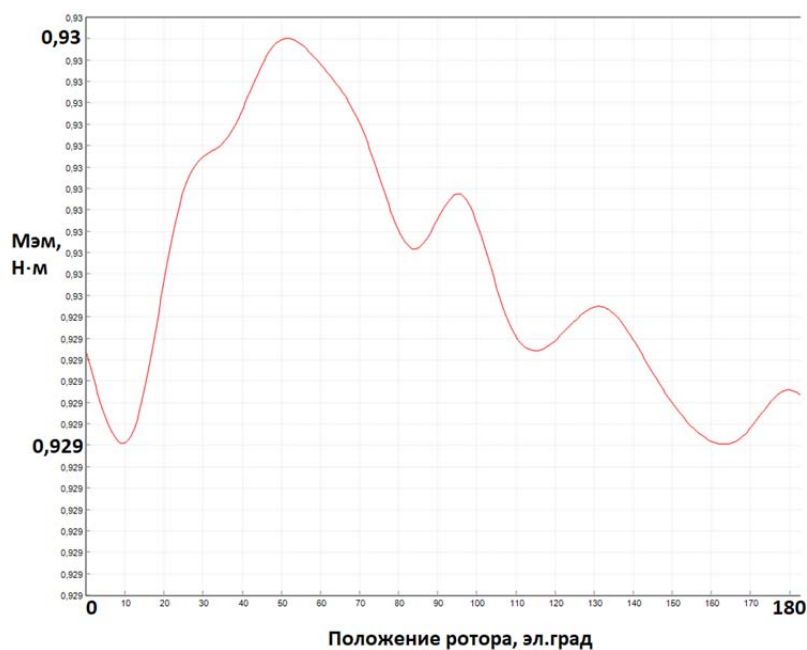


Рис. 4. График изменения электромагнитного момента магнитной системы со скосом пазов на  $15^\circ$

Такая конфигурация выигрывает у предыдущей в энергоэффективности и в габаритах за счёт уменьшения вылета лобовых частей. Также у такой магнитной системы на порядок меньше пульсации электромагнитного момента (0,11 %). Однако, скос пазов на статоре или сегментация магнитов в осевом направлении со скосом приводит к усложнению конструкции в сравнении с предыдущим вариантом. Усложнение конструкции требует дополнительные технологические операции, что непосредственно сказывается на стоимости изделия.

### Список литературы

1. Вибрация. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вибрация>. (дата обращения: 18.04.2022).
2. Панасюк М.Б. Особенности конструкции высокоскоростных синхронных генераторов с постоянными магнитами, предназначенные для работы в составе системы электропривода / Панасюк М.Б., Магин В.В. // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2015. – Т. 149, № 6. – С. 18–23. – EDN XXUCHF.
3. Пульсации электромагнитного момента бесконтактного двигателя постоянного тока / Сапсалева А.В., Савин Н.П., Харитонов С.А., Овчинникова О.Е. // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2018. – № 1. – С. 369–373. – EDN PNUBCX.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK R2021B

Усков В.С.<sup>1</sup>, Ланграф С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, ИШИТР, гр 8Е02,

Email: vsu2@tpu.ru

<sup>2</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент,

Email: langraf@tpu.ru

## Введение

Для достижения оптимальной работы синхронных двигателей (СД) необходимо проводить моделирование переходных процессов, чтобы оценить их характеристики и оптимизировать работу системы. В данной работе рассматривается моделирование переходных процессов синхронного трехфазного двигателя с постоянными магнитами в программном пакете MATLAB/SIMULINK R2021B. Методика моделирования основана на математической модели двигателя, учитывающей его электромагнитные и механические характеристики.

## Модель СД в неподвижной и подвижной системах координат

Синхронная машина в неподвижной и подвижной системах координат описывается системами уравнений 1 и 2 соответственно:

$$\begin{cases} U_a = R_s * i_a + L_s * \frac{di_a}{dt} - \omega_r * z_p * \Psi_{fa} \\ U_\beta = R_s * i_\beta + L_s * \frac{di_\beta}{dt} - \omega_r * z_p * \Psi_{f\beta} \\ M = \frac{3}{2} z_p * (\Psi_{fa} * i_\beta - \Psi_{f\beta} * i_a) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} * (M - M_c) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + p(L_d + \Psi_f) - \omega_r z_p (L_q i_q) \\ U_q = R_s i_q + p * L_q i_q + \omega_r z_p (L_d i_d + \Psi_f) \\ M = \frac{3}{2} z_p (\Psi_d i_d - \Psi_q i_q) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (\frac{3}{2} z_p (\Psi_d i_d - \Psi_q i_q) - M_c) \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\Psi_{fa} = \Psi_f \cos \omega t$ ,  $\Psi_{f\beta} = \Psi_f \sin \omega t$ ,  $\Psi_a = L_s * i_a + \Psi_{fa}$ ,  $\Psi_\beta = L_s * i_\beta + \Psi_{f\beta}$ ,  $U_a, U_\beta, i_a, i_\beta, \Psi_a, \Psi_\beta, \Psi_f, U_d, U_q, i_d, i_q$  – составляющие векторов напряжений, токов, потокоцеплений по осям двухфазным осям.  $R_s, L_s, L_d, L_q$  – сопротивление и индуктивность статорной обмотки. Механические параметры:  $J$  – момент инерции,  $\omega_r$  – частота вращения ротора,  $z_p$  – число пар полюсов двигателя,  $M$  и  $M_c$  – электромагнитный момент и момент нагрузки.

Модели синхронного двигателя во вращающейся и неподвижной системах координат представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

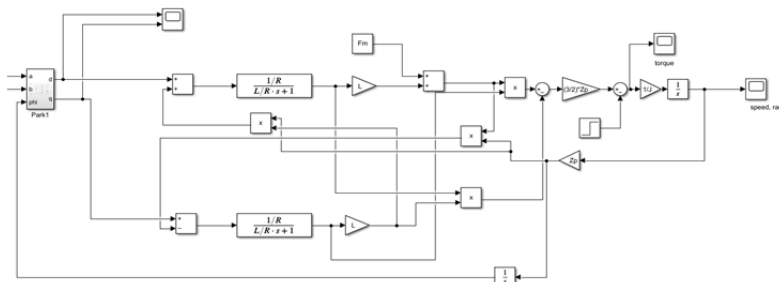


Рис. 1. Модель синхронного двигателя во вращающейся системе координат

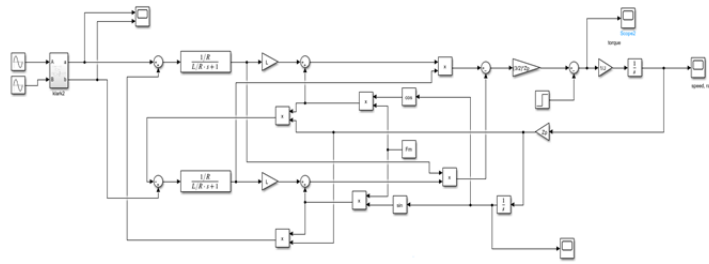


Рис. 2. Модель синхронного двигателя в неподвижной системе координат

Графики переходных процессов, полученные с моделей синхронного двигателя во вращающейся и в неподвижной системах координат представлены на рисунке 3.

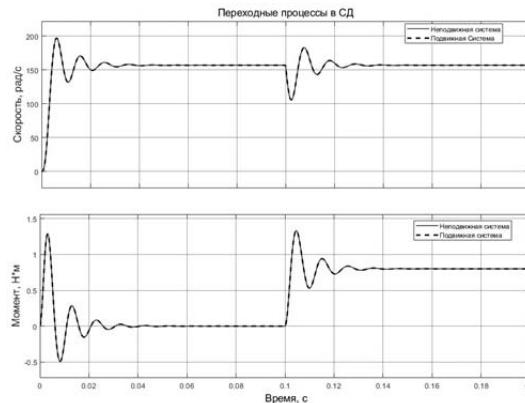


Рис. 3. Переходные процессы в СД

Далее, для проверки полученных результатов, была использована виртуальная модель СД, выполненная с использованием виртуальных блоков из библиотеки Power System Blockset matlab/Simulink. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

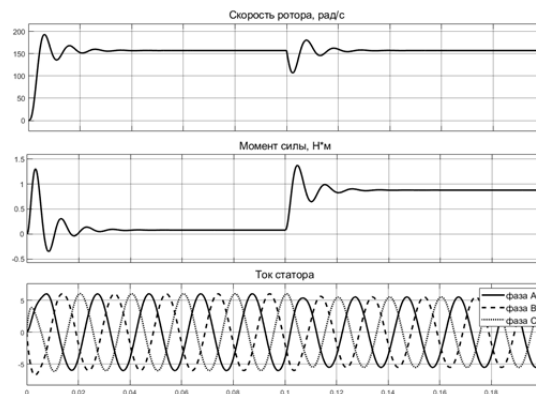


Рис. 4. Переходные процессы СД

Входным воздействием во всех случаях являлось трехфазное синусоидальное напряжение с амплитудой 150 В и частотой 31,4 рад/с. Во времени  $t = 0.1$  с к двигателю прикладывалась нагрузка  $M_c = 0.75$  Нм.

Сравнивая рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что имитационная модель двигателя идентична математической, что подтверждает правильность моделей, представленных на рис. 2, 3.

### Список литературы

1. Калачев Ю.Н. Моделирование в электроприводе – Москва, 2019. – 15 с.
2. Permanent magnet synchronous motor with sinusoidal flux distribution // mathworks: сайт – 2013. – URL: <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/pmsm.html>
3. Фираго Б.И. Векторные системы управления электроприводами – Минск: Высшая школа, 2014. – С. 87–107.

## ОБРАБОТКА ЗАШУМЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ БАЗИСОМ

Шокодько Ф.А., студент гр. 8Т02  
 Попов С.С., аспирант ТПУ  
 Глазырин А.С., д.т.н., профессор ОЭЭ  
 НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
 E-mail: fas6@tpu.ru

Для обработки экспериментальных данных, полученных со значительной погрешностью, часто используют разные виды аппроксимации. Метод построения аппроксимирующей функции  $\varphi(x)$  из условия минимума суммы квадратов отклонений от экспериментальных точек  $f(x_i)$

$$Q = \sum_{i=0}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=0}^n [f(x_i) - \varphi(x_i)]^2 \Rightarrow \min \quad (1)$$

называют методом наименьших квадратов (МНК). Наиболее распространен выбор функции  $\varphi(x)$  в виде комбинации

$$\varphi(x) = k_0 \cdot \varphi_0(x) + k_1 \cdot \varphi_1(x) + \dots + k_m \cdot \varphi_m(x), \quad (2)$$

где  $\varphi_m(x)$  – базисные функции;  $k_m$  – коэффициенты, определяемые из условия (1).

Обычно при обработке экспериментальных данных начинают с одной базисной функции. Если среднеквадратичная погрешность превышает экспериментальную, то расширяют базис путем добавления новых базисных функций. Выбор базисной функции определяется свойствами аппроксимирующей зависимости.

В МНК считается, что модель пригодна, и в рамках заданной структуры модели находятся значения ее параметров  $k_j$ , как некоторые наилучшие оценки (в смысле критерия (1)). Для определения  $k_j$  необходимо решить задачу на поиск безусловного экстремума функции (1)

$$\frac{\partial Q(k_j)}{\partial k_j} = 0; \quad j = \overline{1, m}.$$

Представим аппроксимирующую функцию  $\varphi(x)$  в виде усеченного гармонического ряда Фурье, с ограниченным числом гармоник и оценим погрешность такого представления.

$$\varphi(x) = k_0 \cdot 1 + k_1 \cdot \sin(w \cdot x) + k_2 \cdot \cos(w \cdot x) + \dots + k_{m-1} \cdot \sin(w \cdot n \cdot x) + k_m \cdot \cos(w \cdot n \cdot x). \quad (3)$$

Определим параметры модели  $k_j$ , рассмотрев решение этой задачи с использованием матричной формы записи. Введем следующие обозначения:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(x_1) \\ \hat{y}(x_2) \\ \vdots \\ \hat{y}(x_N) \end{bmatrix} = \hat{Y}; \quad \begin{bmatrix} 1 \sin(w \cdot x_1) \cos(w \cdot x_1) \dots \sin(w \cdot n \cdot x_1) \cos(w \cdot n \cdot x_1) \\ 1 \sin(w \cdot x_2) \cos(w \cdot x_2) \dots \sin(w \cdot n \cdot x_2) \cos(w \cdot n \cdot x_2) \\ \dots \\ 1 \sin(w \cdot x_N) \cos(w \cdot x_N) \dots \sin(w \cdot n \cdot x_N) \cos(w \cdot n \cdot x_N) \end{bmatrix} = X; \quad \begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix} = K.$$

В результате искомые коэффициенты значения

$$K = (X^T X)^{-1} X^T \hat{Y}. \quad (4)$$

Пусть существует задача найти аппроксимирующую функцию для дискретных значений зашумленного исследуемого сигнала, необходимо обработать экспериментальные данные с помощью построения аппроксимирующей функции по МНК с использованием ортогонального Фурье базиса (рис. 1).



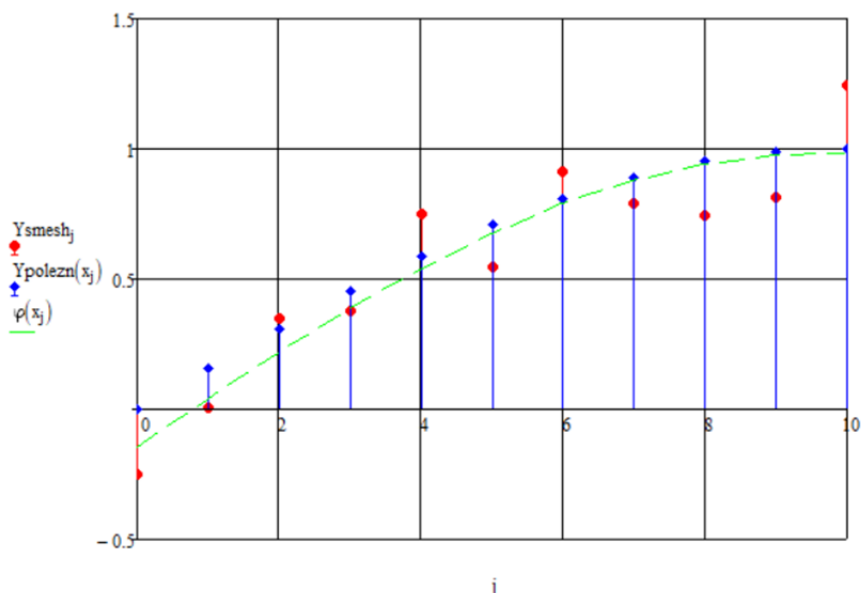


Рис.1. На графике красным цветом представлен шумовой сигнал, синим сигнал без шума, зеленым полученная аппроксимирующая функция

Для численного подтверждения эффективности обработки метода, необходимо воспользоваться анализом регрессионных остатков, т. к. использовался усеченный ряд Фурье для четырех гармоник. Интегральная оценка регрессионных остатков можно рассчитать по формуле (5)

$$\delta\varphi = \frac{\sum_{i=0}^{10} \hat{y}_i - \int_0^{10} \varphi(x) dx}{\int_0^{10} \varphi(x) dx} \cdot 100\% = 8,661\%. \quad (5)$$

Если среднеквадратичная погрешность превышает экспериментальную, то расширяют базис путем добавления новых базисных функций. Для оценки точности аппроксимации экспериментальных данных рассчитаем среднеквадратичное отклонение по формуле (6)

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{10} (\hat{y}_i - \varphi(x_j))^2}{11}} = 0.1 \quad (6)$$

Показана возможность построения аппроксимирующих регрессионных моделей с ортогональным базисом, коэффициенты которых настроены оптимально в МНК смысле.

### Список литературы

1. Идентификация и диагностика систем: учебное пособие / Коновалов В.И.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010 – С. 20–25.
2. Идентификация систем по малому числу наблюдений: учеб. пособие / Фурсов В.А. – Самара: Самар, гос. аэрокосм. ун-т. 2007. – 80 с.

**СЕКЦИЯ 3**  
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

## ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Баданов И.К., докторант PhD специальности 8D07101–Автоматизация и роботизация,  
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И. Сатпаева», Институт Автоматики  
и информационных технологий, 0*

*8000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22А*

*E-mail: islamcom@mail.ru*

*Касымова Г.А., старший преподаватель кафедры «Текстиль, материаловедение  
и стандартизация», Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
08000, Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60*

*E-mail: kasymova.galiya@mail.ru*

*Баданова Р.Р., старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология»,  
Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
08000, Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60*

*E-mail: roza.badanova1962@mail.ru*

*Научный руководитель – К.И. Баданов, к.т.н.,  
профессор кафедры «Текстиль, материаловедение и стандартизация»,  
Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60*

*E-mail: kenzebad@mail.ru*

Хлопковая целлюлоза претерпевает изменения внешней поверхности и внутреннего объема после воздействия различных химических растворов, применяемых в отделке целлюлозных материалов при выпуске текстильных изделий [1].

Для исследований была использована хлопчатобумажная ткань, которая подвергалась процессам предварительной подготовки перед крашением и заключительной отделкой. При подготовке ткани ее расшлихтовывают, т. е. удаляют шлихту, нанесенную перед ткачеством; затем для удаления природных примесей ее подвергают отварке в растворах щелочей при различных значениях pH и после этого подвергают отбеливанию с использованием различных окислителей, чаще всего перекиси водорода.

В последнее время для процессов подготовки хлопчатобумажных тканей используют те процессы, в которых снижено водо- и энергопотребление. Взамен классическим способам, например, используют холодное отбеливание и стараются заменить силикат натрия при отбеливании, или вовсе его исключить. Это связано с тем, что использование силиката натрия как стабилизатора распада перекиси водорода вызывает определенные проблемы, и прежде всего это его накопление на рабочих органах машин и отложении на ткани, что вызывает появление определенных видов брака при выпуске готовой продукции. В табл. 1 приведены два способа отбеливания: традиционный и предлагаемый.

Таблица 1

*Традиционный и предлагаемый способ отбеливания*

Препарат	Традиционный способ	Предлагаемый способ
Пероксид водорода (35%-й), мл/л	40	60
Силикат натрия, мл/л	10	–
Стабилизатор Prestogen PC, мл/л	10	–
Prestogen EB, мл/л	–	15
Едкий натр (100%-й), г/л	10	40–50
Kieralon OL, г/л	3	3
Leophen M, г/л	1	1

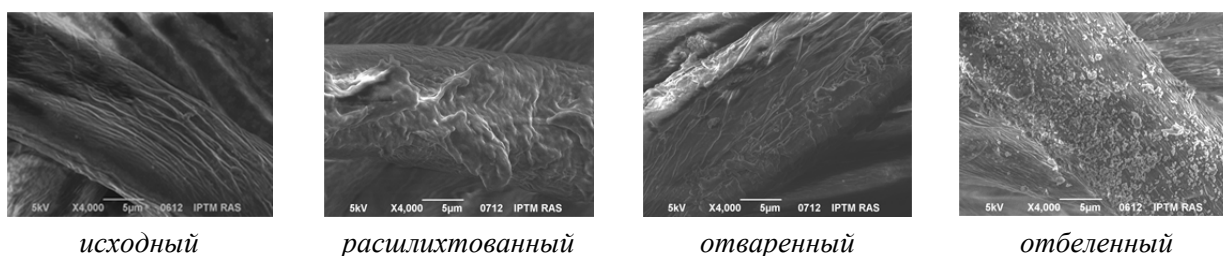
В табл. 2 приведены основные преимущества и недостатки способа без использования силиката натрия.

Таблица 2

*Плюсы и минусы беления перекисью водорода без силиката натрия*

Преимущества	Недостатки
Предельная экономичность. Меньше потребность в оборудовании, меньшая потребность в энергии	Результат зависит от качества сырья

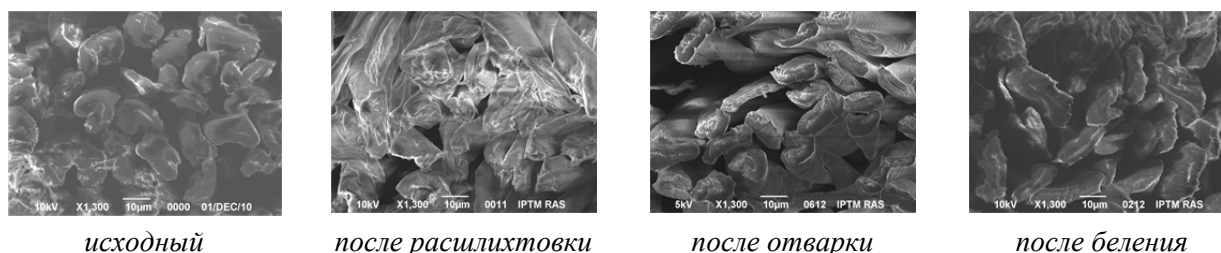
С использованием растрового электронного микроскопа были сняты характеристики внешней поверхности хлопкового волокна ткани, которая была подвергнута предварительной подготовке и процессу беления. На рис. 1 приведены снимки поверхности волокна после различных обработок.



*Рис. 1. Вид поверхностной части волокон, прошедшие обработку*

Расшлихтовка – это процесс удаления шлихты, которая наносится на нити основы перед ткачеством. После того, как ткань соткана, шлихта в основном находится на поверхности ткани и ее необходимо удалить, так как она придает тканям жесткость и гидрофобность. Это отрицательно влияет на последующие процессы крашения и печатания. Как видно из рис.1 при расшлихтовке не вся шлихта удаляется полностью, ее удаление происходит постепенно. В последующих процессах, например, отбеливании, шлихта продолжает разрушаться и распадается на более мелкие фракции. При этом поверхность волокна продолжает освобождаться от шлихты. Это улучшает доступность поверхности волокна к красильным растворам и другим компонентам отделки.

У хлопковой целлюлозы специфическое строение волокна, которое напоминает форму сплюсненной восьмерки. По сути, это два канала, которые образуются в процессе роста хлопчатника. Хлопковая волокна – это гигроскопичный материал. Но в процессах подготовки ее стремятся увеличить, чтобы ускорить протекание процессов крашения и т. д. Способность интенсивно сорбировать растворы можно добиться изменением формы хлопкового волокна, т. е. изменив форму и придав ей форму цилиндра. Если два канала у хлопковой целлюлозы объединить в один и придать ей форму цилиндра, то волокно сразу приобретет несколько положительных свойств: увеличится сорбционная способность, повысится прочность и блеск волокна. В этой связи представляло интерес рассмотреть поперечные срезы волокон после обработок. Формы поперечных срезов хлопкового волокна после обработок представлены на рис. 2.



*Рис. 2. Формы поперечных срезов*

Как видно из приведенных микроснимков хлопковое волокно после обработок не принимает полностью форму цилиндра, но происходит изменение ее формы в сторону

распрямления сплющенной части, т. е. происходит распрямление и увеличение внутренних каналов. Можно предположить, что при дополнительном воздействии с использованием химических и физических воздействий можно ускорить ход распрямления внутренних каналов и тем самым увеличить способность волокна сорбировать красильные растворы [2].

Использование электронного сканирующего микроскопа позволяет визуально оценить изменение не только поверхности волокна, но и его формы за счет поперечных срезов. Таким образом, изменения поверхности волокна при его подготовке к крашению, а также изменение формы внутреннего объема дают возможность менять сорбционные свойства волокна, что особенно важно в процессах крашения.

### **Список литературы**

1. Баданов К.И., Баданова А.К., Касымова Г.А. Изучение состояния поверхности целлюлозного волокна при отделке текстильных материалов. Ж. Вестник Алматинского технологического университета. Выпуск 2 (103), Алматы, 2014. С. 30–36.

2. Баданова А.К., Баданов К.И., Кутжанова А.Ж. Рентгеноспектральный микроанализ химической структуры поверхности гидрофобизированного целлюлозного волокна. Ж. Известия высших учебных заведений. технология текстильной промышленности, Иваново, № 1 (373), 2018. С. 86–90.

## О СИММЕТРИЧНОМ ОРТОТРОПНОМ ТРЕНИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК

Сивцев Н.С., д.т.н., профессор,

Гвоздкова А.В., магистрант,

Бузилов С.В., к.ф.-м.н., доцент

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет

имени М.Т. Калашникова»,

E-mail: sivcevns@mail.ru

При расчетах напряженного состояния пластически деформируемых заготовок в качестве граничных условий, как правило, используются известные законы трения Амонтона-Кулона, Зибеля, Прандтля, сформулированные исходя из условия изотропного трения. Между тем изотропное трение является частным случаем анизотропного (от греч. *Anisos* – неравный и *troros* – направление), для которого величина силы трения различна в зависимости от направления скольжения.

Анизотропия внешнего трения является результатом совокупного и неравного влияния ряда факторов, в числе которых анизотропия неровностей контактирующих поверхностей. В силу физических особенностей методов механической обработки форма и размеры неровностей, составляющих шероховатость поверхности, в разных направлениях отличны. Высота неровностей вдоль следов обработки (продольная шероховатость) в 2–3 раза меньше высоты неровностей, измеренных поперёк следов обработки (поперечной шероховатости) [1].

Трение в двух взаимно перпендикулярных направлениях вдоль и поперек следов обработки (симметричное ортотропное трение) является частным случаем анизотропного трения. Установлено, что сила трения поперек направления следов механической обработки выше, чем вдоль следов обработки [2].

В общем случае сила трения в зависимости от характера шероховатости должна рассматриваться как функция угла  $\alpha$  между вектором этой силы  $F_\alpha$  и отсчётным (нулевым) направлением следов обработки. В системе декартовых координат эта функция будет представлена замкнутой кривой (рис. 1), которую называют годографом силы трения [3].

Годограф силы симметричного ортотропного трения представляет собой контур поперечного сечения эллиптического параболоида плоскостью, параллельной плоскости сдвига (рис. 1, а).

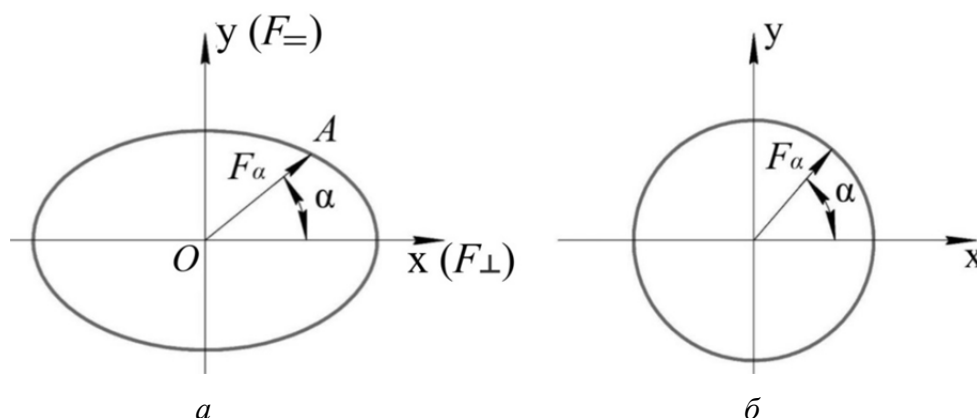


Рис. 1. Типовые годографы силы трения:

а – анизотропное (симметричное ортотропное) трение; б – изотропное трение;

$F_{||}$  и  $F_{\perp}$  – силы трения вдоль и поперек следов обработки

Анизотропия трения существенно влияет на характер формообразования при пластической деформации заготовок, поскольку интенсивность скольжения материала вдоль контактной поверхности инструмента в заданных направлениях зависит от сопротивления

элементарных сил контактного трения (контактных касательных напряжений) в этих направлениях. В парах трения заготовка-инструмент твёрдость последнего гораздо выше твёрдости деформируемой заготовки и в первый же момент деформации контактная поверхность заготовки будет представлять собой отиск поверхности инструмента. При явно выраженной на поверхности инструмента продольной и поперечной шероховатости, трение на контактной поверхности инструмента в ходе дальнейшей пластической деформации заготовки можно рассматривать как симметричное ортотропное.

С использованием модели сухого трения при пластическом деформировании неровностей поверхности заготовки неровностями поверхности жёсткого инструмента [4] получены выражения, позволяющие определять значения касательных напряжений на контактной поверхности инструмента в разных направлениях с учётом анизотропии её шероховатости:

$$\tau_{\alpha} = \frac{\tau_{\pm}}{\sqrt{\Phi^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}};$$

$$\tau_{\pm} = k(1 + \theta_{\pm} - \gamma_{\pm}) \operatorname{ctg} \theta_{\pm};$$

$$\tau_{\perp} = k(1 + \theta_{\perp} - \gamma_{\perp}) \operatorname{ctg} \theta_{\perp},$$

где  $\tau_{\alpha}$  – касательные напряжения в направлении вектора  $\overrightarrow{OA}$  силы симметричного ортотропного трения  $F_{\alpha}$  (рис. 1, а);  $\tau_{\pm}$  и  $\tau_{\perp}$  – касательные напряжения вдоль и поперек следов обработки;  $\Phi$  – фактор фрикционной анизотропии:

$$\Phi = \frac{\tau_{\pm}}{\tau_{\perp}}.$$

Значения углов  $\theta_{\pm}$ ,  $\theta_{\perp}$ ,  $\gamma_{\pm}$ , и  $\gamma_{\perp}$  определяются из выражений:

$$\theta_{\pm} = \frac{\pi}{2} - \beta_{\pm}; \quad \theta_{\perp} = \frac{\pi}{2} - \beta_{\perp};$$

$$\gamma_{\pm} = \arcsin \sqrt{\cos \theta_{\pm} / \sqrt{2}}; \quad \gamma_{\perp} = \arcsin \sqrt{\cos \theta_{\perp} / \sqrt{2}},$$

здесь  $\beta_{\pm}$  и  $\beta_{\perp}$  – углы наклона неровностей поверхности инструмента вдоль и поперёк следов механической обработки [5, с. 98, табл. 4].

В случае изотропного трения скольжение в паре трения происходит по линии действия внешней сдвигающей силы  $P$ , в направлении обратном вектору силы трения  $F_{\alpha}$ .

При анизотропном трении направление относительного скольжения элементов пары трения не совпадает с вектором внешней сдвигающей силы  $P$  [6]. В этом случае вектор силы анизотропного трения  $F_{\alpha}$  представляет собой геометрическую сумму двух векторов – продольного  $F_{\text{ск}}$ , направленного по линии скольжения «е» под углом  $\omega$  к отсчётному (нулевому) направлению следов обработки, и поперечного  $F_{\text{норм}}$ , направленного нормально к линии скольжения «е» (рис. 2).

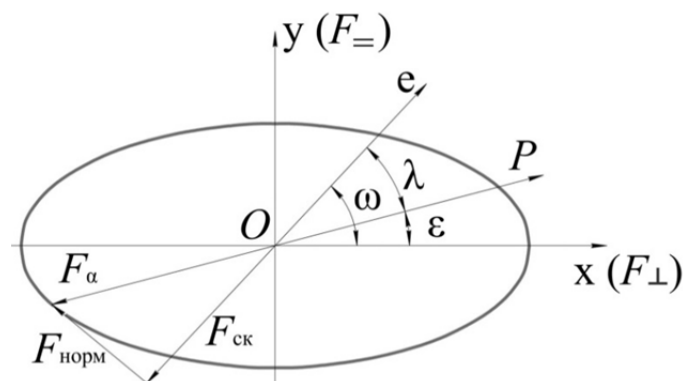


Рис. 2. Составляющие силы анизотропного трения:  $\epsilon$  – угол между вектором внешней сдвигающей силы и отсчётным (нулевым) направлением следов механической обработки;  $\omega$  – текущее значение угла, определяющего направление скольжения «е»;  $\lambda = |\omega - \epsilon|$  – угол увода



Функция  $F_{ск} = f(\omega)$  имеет большое значение для определения направления наиболее интенсивного истечения материала вдоль контактной поверхности инструмента, а её график именуется приведенным годографом силы анизотропного трения [3].

С учетом приближенного аналитического выражения приведенного годографа силы симметричного ортотропного трения [3] предложена математическая модель для расчета угла  $\omega$  направления скольжения при различных углах  $\varepsilon$  вектора внешней сдвигающей силы  $P$ :

$$\tau_{=} + m \cos^2 \omega = \tau_{\alpha} \cos(\omega - \varepsilon),$$

где  $m = \tau_{\perp} - \tau_{=}$ .

Анализ этой модели показывает, что для частных значений аргумента  $\varepsilon = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$  соответствующие значения углов  $\omega$  равны  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ , т. е. по осям симметрии годографа ортотропного трения направление скольжения совпадает с вектором внешней сдвигающей силы  $P$  и угол увода  $\lambda = 0$  (рис. 3).

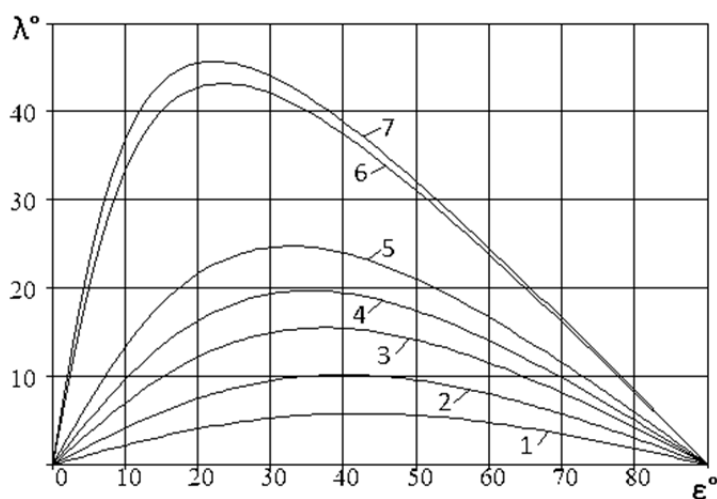


Рис. 3. Зависимость угла  $\lambda$  от угла  $\varepsilon$  ( $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$ ) при различных значениях фактора фрикционной анизотропии  $\Phi$ :  
1 – 0,815; 2 – 0,701; 3 – 0,578; 4 – 0,495; 5 – 0,409; 6 – 0,185; 7 – 0,165

Предложенный вариант моделирования симметричного ортотропного трения может быть использован для расчета деформаций пластически деформируемой заготовки в разных направлениях с учетом анизотропии шероховатости контактной поверхности деформирующего инструмента. Результаты этих расчётов позволят на этапе проектирования операций формообразующей обработки пластическим деформированием осуществлять прогнозирование энергосиловых параметров процесса, точности размеров и геометрической формы деталей.

### Список литературы

1. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение (Ленинград. отд-ние), 1977. – 464 с.
2. Северденко В.П. Теория обработки металлов давлением. – Минск: Высшая школа, 1966. – 223 с.
3. Опейко Ф.А. Математическая теория трения. – Минск: Акад. сельскохоз. наук БССР, 1971. – 149 с.
4. Сивцев Н.С. Механико-математическая модель нагружения локального контакта при ППД в нестационарных условиях трения // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2004. – № 10. – С. 3–12.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. – 4-е изд., перераб. и доп. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.
6. Павлов В.В. Теоретические основы взаимодействия гусениц с грунтом при повороте машины // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2005. – № 5. – С. 38–45.

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ ПУЛЬПЫ

*Волокитин О.Г.<sup>1</sup>, Мингажева Ю.Г.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>д.т.н, профессор*

*ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»*

*E-mail: volokitin\_oleg@mail.ru;*

*<sup>2</sup>аспирант ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»*

*E-mail: yulya\_mingazheva@mail.ru*

Россия является одной из ведущих стран по запасам и добыче благородных металлов. В связи с этим актуальна задача усовершенствования технологии извлечения драгоценных металлов из руд. Процесс извлечения благородных металлов из руды является сложной задачей из-за её низкой флотационной способности, вследствие непостоянного состава, разных характеристик и собственных дефектов. Стандартные методы решения данной задачи основываются на увеличении количества реагента для выщелачивания. В основном данный метод не выгоден экономически и экологически, так как используемые реагенты токсичны и представляют опасность окружающей среде. Поэтому поиск нестандартных методов воздействия на золотосодержащую руду является актуальной задачей. В качестве нестандартных методов применяют: электромагнитные, лазерные, плазменные, электрохимические, ультразвуковые воздействия [1–3].

Применение электрических разрядов для разрушения горных пород встречается в работах Л.А. Юткина [4]. Им же предложены и запатентованы способы дробления монолитных объектов электрическим тепловым взрывом, извлечения токопроводящих включений из полезных ископаемых. Все устройства основаны на электрогидравлическом воздействии на вещество. Технологическая возможность применения электрогидравлического эффекта основана на возникновении сверхдлинных искровых разрядов, мощных инфра- и ультразвуковых колебаний в обрабатываемой среде. При данном воздействии происходит резонансное разрушение крупных объектов на отдельные кристаллы, которые в свою очередь вступают в интенсивную химическую реакцию с другими компонентами, происходит процесс полимеризации, разрыв сорбционных и химических связей [4]. С развитием электроники появились новые возможности электроразрядного воздействия на руду. Были сконструированы новые виды генераторов электромагнитных импульсов, отличающихся параметрами выходных сигналов: длительность, частота, амплитуда, мощность излучателей электромагнитных импульсов. Применение наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ), как способ быстрого разрушения тонкодисперсных минеральных комплексов при переработке труднообогатимой упорной руды, представляет собой особый интерес.

Нами были проведены экспериментальные исследования по воздействию НЭМИ на водные растворы с золотосодержащей рудой в процессе извлечения золота. Опыты проводились в сертифицированной лаборатории АО НПФ «Башкирский золотодобывающий комбинат». Для проверки эффекта воздействия НЭМИ на золотосодержащую пульпу, была разработана лабораторная установка, имитирующая ленточный конвейер. Лабораторная установка состоит из генератора НЭМИ и подключенной к нему электродной системы. Электродная система сделана из прямоугольной ёмкости из стали и верхней съёмной пластины на диэлектрических бочонках (рис. 1). Ёмкость представляет собой заземленный излучатель-электрод, который подключается к оплётке кабеля от генератора импульсов, а съёмная пластина – пусковой излучатель-электрод подключается к центральной жиле кабеля. В центре и по краям электродов впаяны провода ПУВ 1×1,5 мм для подключения к генератору. Допустимый объем наполнения емкости равен 250 мл. Объем выбирался исходя из требований лаборатории АО НПФ «БЗК». Пусковой излучатель-электрод съёмный, при работе находится над обрабатываемой рудой на диэлектрических бочонках. Ширина пластины равна 60 мм, длина 370 мм.

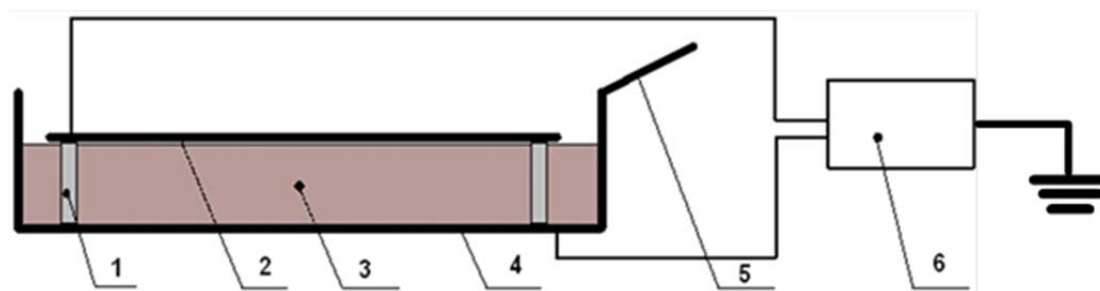


Рис. 1. Электродная система для обработки пульпы из золотосодержащей руды:  
 1 – диэлектрический бочонок; 2 – пусковой излучатель-электрод; 3 – обрабатываемая пульпа;  
 4 – заземленный излучатель-электрод; 5 – загрузочный узел; 6 – генератор НЭМИ

По разработанному алгоритму готовилась пульпа из золотосодержащей руды и дистиллированной воды, добавлялась щелочь для получения необходимого значения рН. Далее пульпа загружалась в установку, сверху устанавливался пусковой излучатель-электрод. Подключение генератора к электродам осуществлялось двумя способами: по центральному и по крайним проводам. Использовался генератор импульсов с параметрами: амплитуда 15 кВ, длительность 1 нс, частота повторения 1 кГц. После обработки пульпа фильтровалась.

После первых испытаний установки были внесены следующие дополнения:

- добавить в процесс перемешивание: каждые 5 минут;
- проверка зависимости эффективности обработки от способа подключения генератора к электродам: по центральным проводам или по крайним.

По выбранным оптимальным параметрам и доработке технологического процесса были проведены эксперименты по обработке НЭМИ пульпы из упорной золотосодержащей руды. При комнатной температуре бралось 100 г измельченной руды с размером частиц порядка 10 микрон и смешивалось с 200 мл дистиллированной воды. Образованная пульпа с рН порядка 6–7, а для получения рН = 12 добавили NaOH. Хорошо перемешав пульпу, влили в ёмкость через загрузочный узел. Далее был установлен пусковой излучатель-электрод. По крайним проводам подключили генератор. Время обработки 15 минут, с перемешиванием каждые 5 минут. После эксперимента пульпа фильтровалась, исследовался водный раствор и сухой остаток после цианирования. По результатам анализов выявлено, что при подключении генератора по крайним проводам прирост выхода в раствор золота в отфильтрованном водном растворе в 2–3 раза больше, чем при подключении по центральным проводам.

В результате проведенных экспериментов можно сделать вывод, что данная лабораторная установка может быть использована для отработки технологии обработки НЭМИ золотосодержащей пульпы.

### Список литературы

1. Способ извлечения благородных металлов из руд и концентратов: пат. Рос. Федерация, № 2018134376, заявл. 28.09.2018; опубл. 28.05.2019. Бюл. № 16. – 8 с.
2. Способ селективного управления свойствами руд благородных металлов: пат. Рос. Федерация, № 2018123808, заявл. 29.06.2018; опубл. 17.01.2020. Бюл. № 1. – 1 с.
3. Способ электромагнитной рудоподготовки и устройство для его осуществления: пат. Рос. Федерация, № 2019144390, заявл. 27.12.2019; опубл. 22.12.2020. Бюл. № 36. – 23 с.
4. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности: монография. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.

## СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСТРУЗИОННОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Копытов Г.С.<sup>1\*</sup>, Креницын М.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, Россия, Томск

\*E-mail: gsk10@tpu.ru;

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, Томск

На сегодняшний день все большую популярность приобретают аддитивные технологии. Очень распространен метод послойного наплавления – FDM-печать. Он представляет собой процесс аддитивного производства, который реализуется благодаря экструзии материалов на основе термопластичных полимеров. В FDM объект строится путем нанесения расплавленного материала по заранее установленному алгоритму, слой за слоем. В случае необходимости получить изделия из металла или керамики используют фидстоки – гранулированный материал, смесь мелкодисперсных металлических или керамических порошков с полимерным связующим. Однако различные фидстоки требуют определенных параметров печати, которые определяются эмпирическим путем. Целью данной работы является исследование структуры медных образцов, полученных методом FDM печати с применением фидстоков.

При создании фидстока использовались нанопорошки меди с небольшим содержанием оксида ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), сформированного в результате естественного окисления порошка. Порошки отличаются дисперсностью, поэтому были разделены на 3 отдельные серии.

По результатам исследования реологических свойств определено, что реологические свойства зависят от дисперсности следующим образом: чем крупнее фидсток, тем более вязким он становится.

Следующим этапом было спекание образцов. Образцы спекались в печи в форвакууме при температуре 950 °С.

Выявлено, что при спекании значительно увеличивается количество фаз оксида меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  в связи с реакцией с кислородом. До спекания содержание оксида меди в образцах составляет: в первой серии 9,7 %, во второй серии 2,3 %, в третьей серии 1,2 %. После спекания содержание оксида меди в образцах составляет: в первой серии 21,2 %, во второй серии 10,4 %, в третьей серии 9,1 %.

Установлена зависимость способности к окислению от дисперсности порошков: более мелкий порошок должен быть более активен по отношению к кислороду.

Были проведены металлографические исследования образцов на оптическом микроскопе. На рисунках представлены структуры образцов. На этапе рентгенофазового анализа был определен фазовый состав образцов каждой серии. Полученные результаты были обработаны методом Ритвельда. Были построены дифрактограммы.

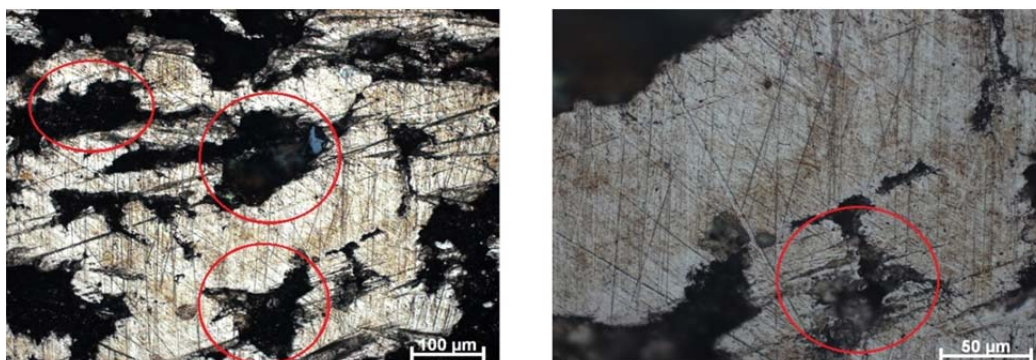


Рис. 1. Структура образцов 1 серии



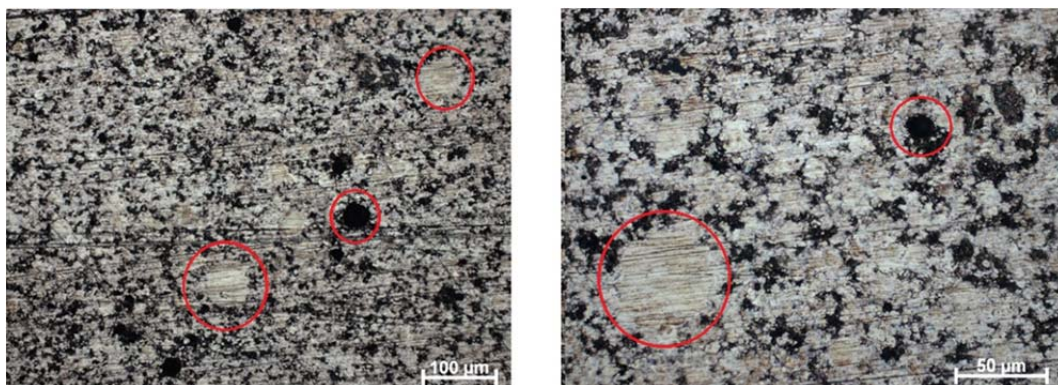


Рис. 2. Структура образцов 2 серии

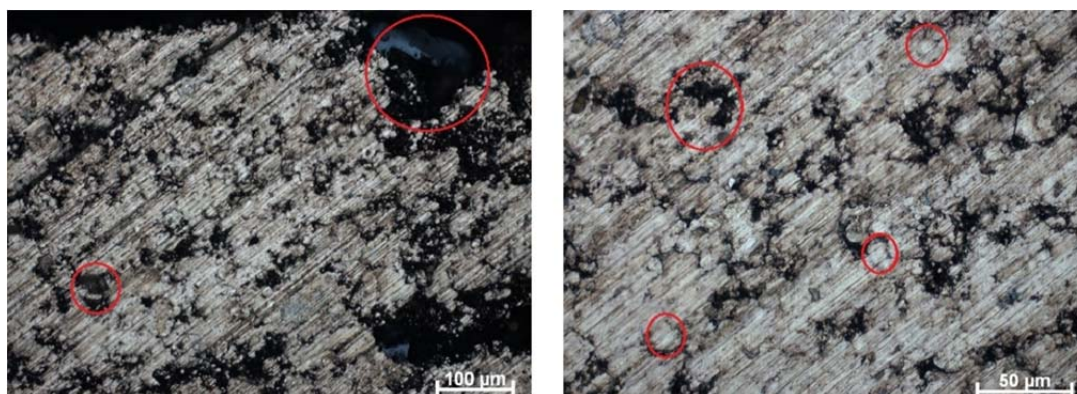


Рис. 3. Структура образцов 3 серии

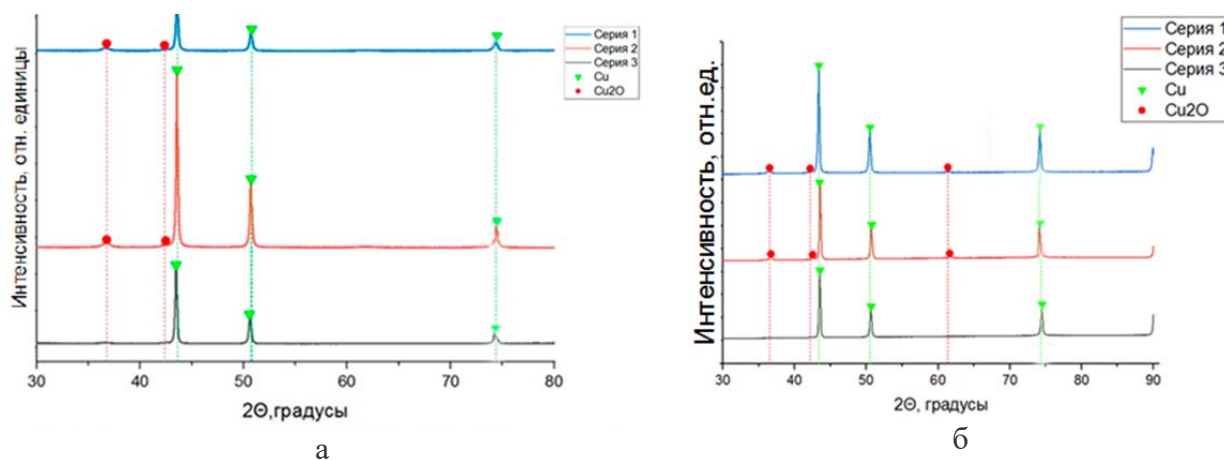


Рис. 4. Дифрактограммы образцов до (а) и после (б) спекания

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых № МК-209.2022.4.

### Список литературы

1. Yufei Chen et. al. Integration of interlayer surface enhancement technologies into metal additive manufacturing: A review // Journal of Materials Science & Technology. – 2023. – Vol. 165. – P. 94–122.
2. Van Pham D. et al. Study into the effects of the feedstock properties and stability on the catalytic hydrocracking of heavy oil // Fuel. – 2023. – Vol. 339. – P. 127427.
3. Liu C. et al. Effect of powders on aluminum nitride components fabricated by PIM // Powder Technology. – 2023. – Vol. 420. – P. 118409.

## **НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

*Самолук Н.Г., старший преподаватель  
Ломовская С.А., магистрант, гр. 14/731М,  
Томский государственный педагогический университет,  
634061, г. Томск, Киевская ул., 60  
E-mail: samolyukng@mail.ru  
E-mail: xxx\_sofi\_xxx@mail.ru*

Обучение начертательной геометрии – это сложный процесс, требующий от учащихся навыков анализа и представления пространственных форм и отношений.

Начертательная геометрия – это раздел геометрии, который изучает методы и принципы представления трехмерных объектов на плоскости и их взаимное расположение [2].

Роль начертательной геометрии в образовании инженеров трудно переоценить. Она является фундаментальным инструментом, который помогает инженерам визуализировать и анализировать конструкции и системы в трехмерном пространстве. Изучение начертательной геометрии позволяет инженерам развить навыки аналитического мышления, пространственного воображения, а также усовершенствовать навыки рисунка и графического представления.

Начертательная геометрия является важным инструментом для разработки, проектирования и производства сложных изделий и систем во многих областях промышленности и инженерии. В машиностроении начертательная геометрия применяется при разработке и проектировании механизмов, деталей и сборочных единиц. В архитектуре начертательная геометрия используется для создания планов, разрезов и фасадов зданий, а также деталей интерьера. Она помогает архитекторам визуализировать конструкцию здания и обеспечивает точность при переводе трехмерных идей в двухмерный формат. В авиационной инженерии начертательная геометрия применяется для проектирования аэродинамических профилей крыла, формы корпуса самолета и других важных деталей. Она также используется при разработке трехмерных моделей самолетов для анализа и оптимизации их производственных процессов. В инженерии автомобилестроения начертательная геометрия применяется для создания дизайна кузова, формы деталей и сборочных единиц автомобиля. Она помогает инженерам обеспечить оптимальные пропорции и функциональность автомобиля, а также улучшить его эстетические характеристики. В судостроении начертательная геометрия используется для разработки формы корпуса судна, расположения систем и деталей. Она играет ключевую роль при проектировании судов различных размеров и типов, обеспечивая их гидродинамические характеристики и безопасность [3].

Начертательная геометрия играет важную роль в образовательном процессе, особенно в контексте полного развития обучающихся и их понимания геометрических принципов и пространственных отношений. Начертательная геометрия позволяет обучающимся визуализировать геометрические объекты и отношения, создавать геометрические фигуры, использовать точки, линии, плоскости и объемы для изучения и конструирования. Кроме того, изучение начертательной геометрии способствует развитию пространственного мышления у обучающихся [1]. Они учатся представлять и сравнивать объекты в трехмерном пространстве, понимать перспективу, отношения размеров и форм. Безусловно, начертательная геометрия требует от обучающихся использования логического мышления при решении геометрических задач и построении доказательств. Это помогает им развивать навыки анализа, рассуждения и логического вывода.

Начертательная геометрия является основой графического моделирования и конструирования. Освоение этой дисциплины помогает студентам приобрести навыки работы с различными графическими инструментами. Обучение начертательной геометрии требу-

ет точности в измерениях, построениях и рисунках, а также развивает способность визуализировать объекты в пространстве. Эти навыки являются очень важными для работы с современными графическими программами и CAD-системами. Студенты, которые владеют начертательной геометрией, легче осваивают такие программы как AutoCAD, SolidWorks и другие, которые широко используются в инженерной практике [4]. Они имеют более глубокое понимание принципов и возможностей этих программ, что делает выполнение проектов и задач более эффективным.

Развитие начертательной геометрии способствует повышению точности и качества инженерных решений. Работа с графическими инструментами и построение точных чертежей требует внимания к деталям, понимания геометрических принципов и применения правил конструкции. Студенты, овладевшие начертательной геометрией, способны более точно представлять и анализировать объекты и конструкции, выполнять чертежи, диаграммы и схемы [5]. Это позволяет им принимать осознанные и обоснованные решения при разработке инженерных проектов. Точность и качество в конструировании и проектировании очень важны, особенно в области инженерии, где малейшие ошибки могут иметь серьезные последствия. Все это также помогает студентам достигать более высокого уровня точности и качества своих инженерных решений.

Следует отметить, что в настоящее время в Российской Федерации недостаточно времени и внимания уделяется обучению черчению в школах. В результате этого многие учащиеся не получают достаточной практики и не развивают необходимые навыки, которые требуются им при дальнейшем обучении для детального понимания начертательной геометрии. В итоге при поступлении в высшие учебные заведения у них возникают затруднения при выполнении заданий, связанных с черчением, и качество их чертежей страдает. В связи с этим возникает потребность в привлечении дополнительных ресурсов и увеличении времени, выделяемого на обучение черчению, чтобы обеспечить учащимся достаточное количество практических занятий и возможности развития их навыков в этой области [6].

Необходимо разрабатывать и внедрять современные и эффективные образовательные методики и подходы в обучении начертательной геометрии: проблемно-ориентированное обучение, проектная деятельность, коллективное конструирование. Организация интерактивных занятий и уроков, включающих демонстрации, дискуссии и работы в группах, может способствовать более эффективному усвоению материала.

Использование инновационных обучающих технологий, таких как виртуальная и дополненная реальность, может значительно улучшить обучение начертательной геометрии [4]. Виртуальные среды позволяют студентам взаимодействовать с трехмерными моделями, исследовать пространственные конструкции и проверять свои представления. Дополненная реальность может быть использована для создания интерактивных заданий и визуализаций геометрических конструкций в реальном времени, что позволяет учащимся лучше понимать и применять начертательную геометрию.

Кроме того, важным элементом для улучшения образования в области начертательной геометрии является сотрудничество между учебными заведениями, профессиональными инженерными сообществами и потенциальными работодателями. В рамках сотрудничества могут разрабатываться обновленные учебные программы, отражающие современные требования к начертательной геометрии в различных профессиональных областях. Учебные заведения могут сотрудничать с профессионалами из инженерной индустрии, чтобы объединить теоретические, практические знания и опыт, которые могут быть включены в учебные программы, а также проводить стажировки и практику для студентов, чтобы они могли применить свои знания в реальной среде.

Итак, начертательная геометрия является ключевым инструментом для понимания пространственных отношений и форм, а также для развития навыков аналитического мышления и решения сложных инженерных задач. К сожалению, с развитием компьютерных технологий и программного обеспечения начертательную геометрию иногда относят

к устаревшим навыкам и зачастую не уделяют этой дисциплине должного внимания в процессе обучения. Однако понимание и владение начертательной геометрией является основополагающим для инженеров и специалистов в сфере проектирования, а также помогает развить важные профессиональные качества, такие как внимательность, точность и творческое мышление.

**Список литературы:**

1. Григорьева Е.В. Совершенствование качества преподавания графических дисциплин при подготовке кадров технического профиля / Е.В. Григорьева, И.В. Сергеева // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 12. – С. 6–10.
2. Лапко О.А. Начертательная геометрия как наука / О.А. Лапко, П.В. Асвинова // Форум молодых ученых. – 2021. – № 1 (53). – С. 165–167.
3. Литвинова Н.Б. Возможности начертательной геометрии в развитии будущего специалиста / Н.Б. Литвинова // Право и практика. 2013. – № 4. – С. 97–101.
4. Мельникова И.А. Современные технологии в преподавании начертательной геометрии / И.А. Мельникова, Л.И. Яковлева // Обучение и воспитание: методики и практика. – 2014. – № 16. – С. 166–169.
5. Рукавишникова Е.Л. О проблемах преподавания начертательной геометрии в вузе / Е.Л. Рукавишникова // Современные образовательные технологии в мировом учебно-воспитательном пространстве. – 2016. – № 6. – С. 136–141.
6. Шуранова Е.Н. Проблемные ситуации в курсе начертательной геометрии / Е.Н. Шуранова, Г.В. Фокина // Современное педагогическое образование. – 2022. – № 4. – С. 145–147.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБУЧЕНИИ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

*Ломовская С.А., магистрант, гр. 14/731М,  
Томский государственный педагогический университет,  
634061, г. Томск, Киевская ул., 60*

*E-mail: xxx\_sofi\_xxx@mail.ru;*

*Самолюк А.А., преподаватель  
Томский государственный педагогический колледж  
634000, г. Томск, Крылова ул., 12а*

*E-mail: a.samolyuk@internet.ru;*

*Самолюк Н.Г., методист, педагог ДО*

*МАОУ СОШ № 16 г. Томск*

*E-mail: samolyukng@mail.ru*

В последние годы искусственный интеллект оказывает все большее влияние на образование, преобразуя традиционные методы обучения. Одним из важных аспектов образования, оказывающихся под влиянием ИИ, является обучение начертательной геометрии. Начертательная геометрия – важный компонент математического и инженерного образования, позволяющий развивать пространственное мышление, навыки логики и решения проблем. В данной статье рассмотрен вопрос, как использование искусственного интеллекта может улучшить процесс обучения начертательной геометрии.

Искусственный интеллект (ИИ) – это область науки, которая изучает и разрабатывает компьютерные системы и алгоритмы, способные имитировать или моделировать интеллектуальные функции человека [5]. В образовании использование ИИ имеет большой потенциал для улучшения процессов обучения и достижения лучших результатов обучающимися.

Применение искусственного интеллекта в образовании позволяет создавать индивидуализированные образовательные программы и подходы, учитывающие потребности и стиль обучения каждого ученика. ИИ может помочь в определении слабых мест обучающихся, предлагать дополнительные материалы и упражнения для укрепления знаний, а также адаптировать темп обучения [8]. Это позволяет обучающимся получать образование, оптимально соответствующее их потребностям.

Искусственный интеллект имеет большой потенциал в обучении начертательной геометрии – инженерной дисциплине, которая изучает пространственные формы, отношения и свойства. Начертательная геометрия часто требует воображения и визуализации для анализа и понимания сложных концепций, и применение ИИ может значительно облегчить этот процесс.

ИИ может предоставить интерактивные визуализации геометрических фигур и пространственных отношений. Можно вращать фигуры, изменять их размеры и исследовать различные аспекты геометрии в интерактивной среде, что способствует лучшему пониманию и интуитивному ощущению сложных геометрических понятий. Также искусственный интеллект может помочь обучающимся в решении геометрических задач, формулируя план для самостоятельного решения и предлагая дополнительные объяснения. Можно также получать мгновенную обратную связь о правильности их решений, что помогает улучшать свои навыки в решении геометрических задач [1].

Кроме того, ИИ может выполнять сложные геометрические расчеты и создавать точные конструкции. Это может быть особенно полезно при изучении связанных с прецизией задач, таких как построение и измерение геометрических фигур.

Использование искусственного интеллекта в обучении начертательной геометрии помогает обучающимся лучше понять и научиться применять геометрические концепции и личные способности в каждом конкретном случае, что способствует их инженерному развитию в целом.

Основные подходы искусственного интеллекта, которые могут использоваться в обучении начертательной геометрии:

1. Компьютерное зрение. С помощью алгоритмов обработки изображений и компьютерного зрения искусственный интеллект может анализировать рисунки и диаграммы, созданные учащимися при изучении начертательной геометрии. Он может распознавать геометрические фигуры, определять их параметры и взаимное расположение. Это помогает обучающимся получать обратную связь о правильности выполнения заданий. Например, приложения Geometry Pad и GeoGebra (доступны на iOS и Android) – это комплексные образовательные приложения, которые используют компьютерное зрение для обучения начертательной геометрии и решения связанных с ней задач [2].

2. Компьютерное моделирование. Искусственный интеллект может создавать трехмерные модели геометрических фигур и объектов. Например, системы CAD (Computer-Aided Design – компьютерное проектирование) хоть и не являются прямыми примерами искусственного интеллекта (ИИ) в своей классической форме, однако могут использовать некоторые методы и техники, которые связаны с ИИ (приложения AutoCAD, SolidWorks, Компас 3D, Autodesk Inventor, Rhino, SketchUp) [3]. Например, некоторые системы CAD могут использовать алгоритмы оптимизации для автоматического создания оптимальных вариантов деталей или структур. Эти алгоритмы могут использовать эволюционные методы, генетические алгоритмы или алгоритмы машинного обучения для оптимизации параметров проектируемых объектов.

3. Генерация заданий. Искусственный интеллект может генерировать разнообразные задания по начертательной геометрии, учитывая уровень знаний и способности обучающегося [4]. Он может адаптировать задания, чтобы подходить к индивидуальным потребностям каждого учащегося и обеспечивать оптимальное обучение. В качестве примера можно привести такие платформы как GeoGebra, Smartick, а также любые чат-боты, работающие на основе искусственного интеллекта (например, ChatGPT, Чат-бот Яндекс).

Такие чат-боты, помимо генерации заданий, могут также выступать в роли интеллектуальных ассистентов: объяснять ученикам геометрические понятия и правила, помогать в решении задач, проверять правильность ответов, составлять персонализированные программы обучения.

На основании этого можно выделить основные преимущества применения искусственного интеллекта в обучении начертательной геометрии:

1. Персонализация обучения. Искусственный интеллект может создать индивидуальные планы обучения, учитывая индивидуальные потребности и способности.

2. Интерактивная визуализация. Одна из возможностей искусственного интеллекта – создание интерактивных визуализаций и симуляций, которые помогают обучающимся визуализировать геометрические понятия и взаимодействовать с ними [3].

3. Наличие обратной связи. С помощью, например, чат-ботов можно предоставить учащимся мгновенную обратную связь и позволить выполнить работу над ошибками при решении задач начертательной геометрии.

Однако, есть и существенные недостатки:

1. Ограниченное взаимодействие с педагогом. Искусственный интеллект может обеспечивать множество полезных функций, но в некоторых случаях может быть сложно заменить взаимодействие с педагогом, который может предложить дополнительную поддержку, объяснить сложные концепции и ответить на вопросы.

2. Ограничения распознавания изображений. Распознавание и анализ изображений являются важными задачами в использовании искусственного интеллекта для обучения начертательной геометрии [7]. Однако, иногда алгоритмы компьютерного зрения могут иметь ограничения и трудности в правильной идентификации и анализе сложных геометрических фигур или при плохом качестве фотографий работ.

3. Ограниченность задач. Пока искусственный интеллект демонстрирует большой потенциал в обучении начертательной геометрии, он все же ограничен в способности

адаптироваться к различным контекстам и задачам. Поэтому важно разрабатывать системы, которые способны учитывать изменчивость и многообразие геометрических ситуаций и предоставлять соответствующую обратную связь и поддержку.

Исследование, связанное с применением искусственного интеллекта в обучении начертательной геометрии, очень значимо для педагогической практики. Во-первых, такие исследования могут значительно улучшить качество образования в этой области, помогая учащимся лучше овладеть навыками начертательной геометрии и развить абстрактное мышление. Во-вторых, применение искусственного интеллекта может сделать образовательный процесс более интерактивным и захватывающим для учащихся. Использование компьютерных программ и чат-ботов позволяет создавать учебные сценарии, в которых учащиеся могут взаимодействовать с геометрическими объектами в визуализированной форме [6].

Таким образом, применение искусственного интеллекта в обучении начертательной геометрии имеет большой потенциал для улучшения качества образования и обучения. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут продемонстрировать новые возможности и привести к разработке инновационных методов и технологий, способствующих развитию геометрического мышления у обучающихся.

### **Список литературы**

1. Bichsel J. Artificial intelligence and geometry learning: a literature review / J. Bichsel, T. Freeman, K. Yamamoto // *Educational Technology Research and Development*. – 2019. – № 67(4). – P. 1027–1052.
2. Clark-Wilson A., Hoyles C., & Newman M. (2019). How can dynamic geometry software support geometric reasoning and proof /A. Clark-Wilson, C. Hoyles, M. Newman // *Educational Studies in Mathematics*. – 2019. –№ 101(2). – P. 139–166.
3. Mannion J.A constructivist geometry approach: changing students' mathematical image through ICT use / J. Mannion // *Research Papers in Education*. – 2018. – № 33(4). – P. 483–504.
4. Котлярова И.О. Технологии искусственного интеллекта в образовании / И.О. Котлярова // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки*. – 2022. – № 3. – С. 69–82.
5. Леонтьев В.Н. Искусственный интеллект: теория и практика / В.Н. Леонтьев // *Инновации. Наука. Образование*. – 2021. – № 32. – С. 478–484.
6. Седых Н.В. Проблемы и перспективы развития технологии искусственного интеллекта / Н.В. Седых, И.П. Фоканов // *Естественно-гуманитарные исследования*. – 2022. – № 44 (6). – С. 266–267.
7. Шабека, Л.С. Оптимизация компьютерного и традиционного при изучении инженерной графики / Л.С. Шабека // *Инновационные технологии в инженерной графике. Проблемы и перспективы: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Брест, 21–22 марта 2013 года*. – Брест: БрГТУ, 2013. – С. 99–101.
8. Кордюков, А.В. Использование методов искусственного интеллекта для построения математической модели детали с целью дальнейшего технологического проектирования / А.В. Кордюков // *Известия МГТУ*. – 2014. – № 1 (19). – С. 117–122.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ НИКЕЛИДА ТИТАНА

*Королёв А.Ю.<sup>1</sup>, Алексеев Ю.Г., Нисс В.С.*  
*Белорусский национальный технический университет*  
<sup>1</sup>E-mail: korolyov129@gmail.com

Никелид титана (нитинол) является перспективным биоматериалом благодаря своим отличительным свойствам, таким как память формы, супер-эластичность, высокая коррозионная стойкость и биосовместимость. Ряд имплантатов и приспособлений для малоинвазивной эндоваскулярной хирургии, в том числе предназначенных для восстановления проходимости кровеносных сосудов в организме человека, изготавливаются из нитинола, поскольку он сохраняет высокую прочность при значительных степенях деформации. Кроме того, из-за самопроизвольной пассивации поверхности даже при комнатной температуре, нитинол обеспечивает достаточную коррозионную стойкость и биосовместимость для эффективного использования в качестве имплантата [1].

За последнее время были изучены различные методы повышения качества поверхности нитинола, основанные на механическом полировании и электрохимическом полировании. Наиболее эффективным и практичным методом повышения качества поверхности, устранения дефектов поверхностного слоя, формирования однородного пассивного слоя, повышения коррозионной стойкости поверхности стентов из нитинола является сочетание химического травления и электрохимического полирования [2]. Из-за наличия на поверхности стойкой оксидной пленки нитинол является труднообрабатываемым материалом для электрохимических технологий. Для растворения оксидной пленки на поверхности нитинола необходимо использовать агрессивные электролиты, содержащие в том числе токсичные компоненты, такие как плавиковая кислота, серная кислота, хлорная кислота, азотная кислота, метанол. Одним из наиболее широко применяемых электролитов в практике электрохимического полирования нитинола является раствор серной кислоты в метаноле. Для полирования аустенитного нитинола используется электролит, состоящий из 10 % хлорной и 90 % уксусной кислот. Для полирования мартенситного нитинола применяют раствор 70 % метанола и 30 % азотной кислоты. Широко используется электролит, состоящий из серной кислоты, плавиковой кислоты и этиленгликоля. Применение опасных компонентов для приготовления электролитов является основным недостатком существующих электрохимических методов повышения качества поверхности изделий из нитинола. Применение таких электролитов наносит существенный вред производственному персоналу и окружающей среде.

В качестве альтернативы существующим методам электрохимического полирования нами разработан новый высокоэффективный процесс повышения качества поверхности изделий из нитинола на основе электролитно-плазменного полирования (ЭПП). Важнейшим преимуществом ЭПП является использование гораздо менее агрессивных и токсичных электролитов по сравнению с традиционным электрохимическим полированием. Так, в процессе ЭПП в качестве электролитов используются водные растворы солей концентрацией 4 %. Плотность тока в процессе ЭПП составляет 0,1–0,4 А/см<sup>2</sup>. Кроме полирования поверхности метод обеспечивает удаление заусенцев, очистку, повышение коррозионной стойкости поверхности [3]. ЭПП широко применяется в процессах полирования и очистки поверхности изделий медицинского назначения, изготовленных из различных металлических материалов, таких как коррозионностойкие стали, титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы [4, 5]. В данной работе представлены результаты исследования влияния ЭПП на структуру и свойства поверхности нитинола.

Для исследований использовались образцы трубчатой формы из нитинола С9-10670 длиной 15 мм, диаметром 12 мм и с толщиной стенки 0,45 мм. Образцы получали из трубы методом лазерной резки. Для удаления шлаков и оксидов металлов, образованных при лазерной резке, выполнялось кислотное травление. ЭПП образцов проводили в вод-

ном 4 % растворе фторида аммония при температуре  $90 \pm 3$  °C. Образцы обрабатывались при напряжении 300 В и плотности тока  $0,15$  А/см<sup>2</sup>. Продолжительность обработки образцов составляла 1, 3, 5 и 7 мин. Измерение параметра шероховатости поверхности *Ra* выполняли с помощью профилометра MarSurf PS 10. Микрофотографии поверхности образцов до и после ЭПП получены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA350. Для определения химического состава поверхностного слоя использовался рентгенофлуоресцентный микроанализатор Inca Energy 350. Коррозионные испытания выполнялись путем измерения потенциала питтингообразования полученных образцов. Для измерений использовался потенциостат-гальваностат ПИ-50-Pro с подключенной электрохимической ячейкой.

Микрофотографии поверхности образцов представлены на рис. 1. На исходных образцах присутствуют питтинги, образованные в результате предварительного химического травления, а также включения в виде интерметаллидных фаз  $TiNi_2O_x$  и  $TiC$ , которые появляются в структуре нитинола в процессе его производства из-за нежелательных примесей кислорода и углерода [6]. Такие включения оказывают влияние на температуру фазовых превращений в нитиноле при эксплуатации изделий, а также могут быть причиной снижения усталостной прочности из-за повышенного трещинообразования [7]. В результате ЭПП продолжительностью 1 мин удаляется поверхностный слой, содержащий питтинги, образованные в процессе предварительного химического травления. При этом интерметаллидные включения проявляются в большей степени, чем на исходной поверхности (рис. 1, б). Дальнейшая обработка (рис. 1, в) приводит к тому, что интерметаллидные включения начинают вытравливаться из структуры сплава, а на их месте остаются освободившиеся поры. В результате ЭПП продолжительностью 5–7 мин количество интерметаллидных включений существенно уменьшается, а количество пор, соответственно, увеличивается (рис. 1, з, д). При этом формируется характерная для электрохимического травления рельефная поверхность с проявлением микроструктуры.

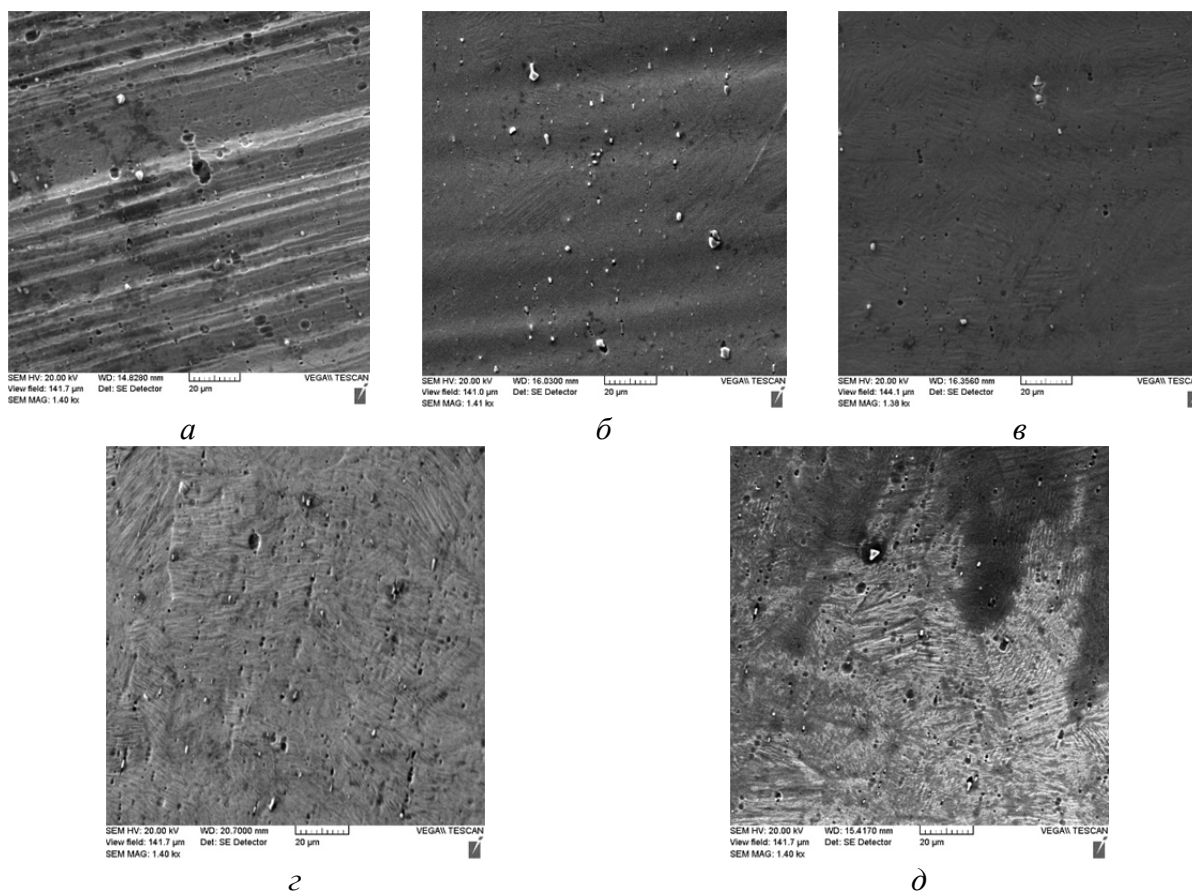
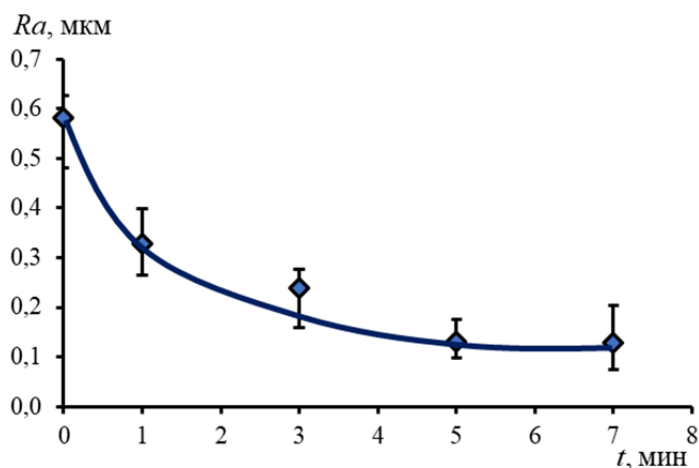


Рис. 1. Микрофотографии поверхности до и после ЭПП: а – до обработки; б – ЭПП 1 мин; в – ЭПП 3 мин; з – ЭПП 5 мин; д – ЭПП 7 мин

Химический анализ показал, что ЭПП не приводит к существенному изменению состава поверхностного слоя. Так соотношение компонентов Ti/Ni на поверхности исходного образца составляет 45,0/55,0 %, а на поверхности образцов после ЭПП с различной продолжительностью – 44,3–45,3/54,7–55,7 %.

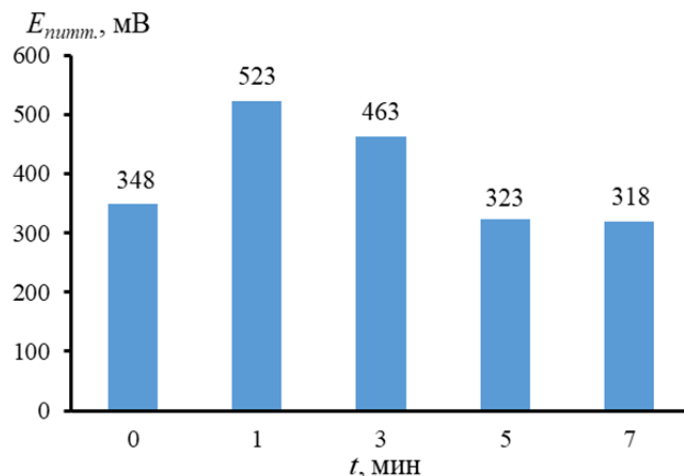
На *рис. 2* представлена зависимость, характеризующая динамику изменения шероховатости поверхности образцов в процессе ЭПП. Наиболее интенсивное сглаживание микронеровностей наблюдается в начальной стадии процесса обработки поверхности при продолжительности до 1 мин. При дальнейшей обработке интенсивность сглаживания значительно снижается. В результате обработки продолжительностью 5–7 мин достигаются предельные значения параметра  $Ra$ .



*Рис. 2. Влияние продолжительности ЭПП на изменение шероховатости поверхности*

Результаты коррозионных испытаний образцов представлены на *рис. 3*.

Установленное значение потенциала питтингообразования  $E_{numm.}$  исходного образца составило 348 мВ. В результате ЭПП с продолжительностью 1 и 3 мин наблюдается повышение  $E_{numm.}$  относительно исходного состояния до значений 523 мВ и 463 мВ соответственно. При дальнейшем увеличении продолжительности ЭПП (5 мин и более) происходит снижение потенциала питтингообразования до значений 318–323 мВ. Таким образом наилучшие защитные свойства поверхности обеспечиваются на начальных этапах обработки при продолжительности (1–3 мин), когда достигается сглаживание наиболее высоких микронеровностей, очистка поверхности и удаление заусенцев. В результате такой обработки удаляется дефектный слой с питтингами, образованными в результате предварительного химического травления, и на поверхности не формируются дефекты обработки в виде пор, освобожденных от интерметаллидных включений. Защитные свойства поверхности образцов, обработанных с продолжительностью 5–7 мин, ниже, чем у исходного образца.



*Рис. 3. Влияние продолжительности обработки на изменение потенциала питтингообразования*

Повышение коррозионной стойкости на начальной стадии ЭПП (1–3 мин) связано не с изменением соотношения компонентов сплава, а с очисткой поверхности, повышением ее однородности, сглаживанием микропрофиля. Значительное снижение коррозионной стойкости после обработки продолжительностью 5–7 мин, вероятно, обусловлено формированием поверхности с большим количеством пор, образующихся в результате вытравливания интерметаллидных включений, и являющихся центрами питтинговой коррозии.

Сопоставление полученных экспериментальных результатов показывает, что наиболее рациональным представляется режим ЭПП продолжительностью 3 мин, при котором обеспечивается высокая интенсивность сглаживания микронеровностей с уменьшением параметра шероховатости Ra на 0,344 мкм. При использовании такого режима ЭПП потенциал питтингообразования увеличивается на 115 мВ (33 %) относительно исходного состояния.

Результаты выполненных исследований показали, что ЭПП является эффективным методом очистки и повышения качества поверхности, скругления острых кромок и повышения коррозионной стойкости поверхности изделий из нитинола, в частности изделий для малоинвазивной эндоваскулярной хирургии. Принимая во внимание мировые тенденции по сокращению производственных процессов, использующих опасные электрохимические технологии и замену их на более экологичные и эффективные, исследованная технология ЭПП представляется актуальной и перспективной для применения в практике производства изделий медицинского назначения из нитинола.

#### Список литературы

1. Shabalovskaya S.A. The electrochemical characteristics of native Nitinol surfaces // S.A. Shabalovskaya, G.C. Rondelli, A.L. Undisz, J.W. Anderegg, T.D. Burleigh, M.E. Rettermayr / *Biomaterials*. – Vol. 30. – 2009. – P. 3662–3671.
2. Neelakantan L., Valtiner M., Eggeler G., Hassel A.S.W. Surface Chemistry and Topographical Changes of an Electropolished NiTi shape memory alloy. *Phys. Status Solidi A* 207(4) (2010) 807–811.
3. Aliakseyeu Yu., Electrolyte-plasma treatment of metal materials surfaces / Yu. Aliakseyeu, A. Korolyov, A. Bezyazychnaya // *Proc. 14 Int Sci. Conf. «CO-MAT-TECH-2006»* – Slovakia, Trnava, p. 6.
4. Алексеев Ю.Г. Электролитно-плазменное полирование титановых и ниобиевых сплавов / Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, В.С. Нисс, А.Э. Паршутто, А.С. Будницкий // *Наука и техника*. – 2018. – № 3. – С. 211–219. doi: 10.21122/2227-1031-2018-17-3-211-219.
5. Электролитно-плазменное полирование кобальт-хромовых сплавов медицинского назначения / Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, В.С. Нисс // *Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук*. – 2019. – Т. 64, № 3. – С. 296–303. doi: 10.29235/1561-8358-2019-64-3-296-303.
6. Ou, S.-F.; Peng, B.-Y.; Chen, Y.-C.; Tsai, M.-H. Manufacturing and Characterization of NiTi Alloy with Functional Properties by Selective Laser Melting. *Metals* 2018, 8, 342.
7. Chekotu JC, Groarke R, O'Toole K, Brabazon D. Advances in Selective Laser Melting of Nitinol Shape Memory Alloy Part Production. *Materials (Basel)*. 2019;12(5):809. Published 2019 Mar 8. doi:10.3390/ma12050809.



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Мальшев А.Н., к.т.н., доцент  
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра МК1 «Машиностроительные технологии»  
248000, г. Калуга, ул. Гагарина, д. 3  
E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru*

Изготовление деталей посредством листовой штамповки занимает одно из лидирующих мест в современном машиностроении и в народном хозяйстве в целом по интенсивности применения новых видов исходных заготовок и материалов, и в том числе по уровню внедрения новых прогрессивных технологий реализации формообразующих операций, а именно, операции вытяжки, которая в подавляющем большинстве применяется для изготовления корпусных деталей, например, в машиностроении для изготовления крышек, баков, картеров; в электротехнике для изготовления корпусов электрощитов, корпусов и панелей для монтажа электроаппаратуры; в автомобилестроении для изготовления крышек, корпусов и поддонов; в приборостроении для изготовления крышек, корпусов и панелей; в часовой промышленности для изготовления крышек и корпусов; в медицине для изготовления стерилизаторов и автоклавов; в легкой и пищевой промышленности для изготовления моек, деталей холодильников, стиральных машин и газовых плит, посуды, коробок для порошков и кремов, консервных банок, подносов, менажниц; в ракетно-космической технике для изготовления деталей летательных аппаратов, днищ баков сферической и торовой форм, элементов конструкций подшипников скольжения вертолетов и самолетов) [1, 2].

Материалы настоящей статьи являются обобщением экспериментального [1] и теоретического [2] исследования точности контура кромки открытого торца коробок, и задачей настоящей работы является идентификация исходных погрешностей технологической системы операции вытяжки при изготовлении коробчатых деталей на основе положений теории параметрической чувствительности.

Технологическая система представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [3]. К предметам производства относятся: материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний. К регламентированным условиям производства относятся: регулярность поступления предметов производства, параметры энергоснабжения, параметры окружающей среды и др. Одним из иерархических уровней технологической системы является технологическая система операции [3].

Проектирование рационального контура плоской листовой заготовки для вытяжки может быть реализовано на основе известных методик [4, 5], с помощью программных комплексов автоматизации проектирования процессов обработки давлением ABAQUS [6], RAM-STAMP [7], QForm 2D/3D [8], Deform [9], а также приемов обратного проектирования [10].

Точность проектирования оптимального контура исходной заготовки для вытяжки накладывает определенные требования на точность изготовления исходной заготовки. Листовые заготовки сложного профиля могут быть изготовлены, например, в вырубных штампах, гидроабразивной резкой и другими методами электро-физико-химической обработки, такими, как лазерная и плазменная резка, вырезка на проволочно-вырезных электроэрозионных станках и т. д. Заготовки несложного плоского профиля, например, тре-

угольника, квадрата, прямоугольника, многоугольника, круг или овал, могут быть изготовлены на универсальном оборудовании, таком как пресс-ножницы и гильотинные ножницы, ленточная пила, кругорез, и с помощью ручного инструмента, такого как слесарная ножовка, ручная углошлифовальная машина, ручной электроинструмент (высечные и вырубные ножницы), а также с помощью рычажных и ручных ножниц. Перечисленные способы изготовления листовых заготовок вносят в геометрию исходной заготовки погрешность, присущую непосредственному применяемому способу ее изготовления, которая непосредственно отразится на точности конечного листоштампованного изделия [1, 2].

Достижение размерной точности деталей, изготавливаемых в общем случае штамповкой, и, в частности, вытяжкой, обеспечивается на основе сложного силового взаимодействия в технологической системе пресс-штамп-заготовка. Прогнозирование точности операций штамповки основывается на изучении исходных погрешностей технологической системы операции, особенностей силового режима и погрешностей исходной заготовки. Точность является комплексным показателем, отражающим совершенство технологического процесса или операции и специфические особенности штамповочных операций.

Отклонения от требуемых значений геометрических параметров вытягиваемых коробчатых деталей может быть вызвано наличием случайных и систематических погрешностей. К случайным погрешностям следует отнести погрешность формы и размеров исходных заготовок, колебание механических свойств их материала (вариация коэффициента анизотропии), а также непостоянство условий трения в рабочих зонах формообразующих поверхностей штампа, а к систематическим относится изменение размеров рабочих деталей штампа вследствие износа; колебание скорости деформации, обусловленное особенностями оборудования; изменение температуры в процессе штамповки, погрешность наладки, изменение заданного усилия прижима и т. д. Оценку влияния варьируемых входных параметров на точность контура кромки открытого торца квадратной коробки можно выполнить с помощью основных положений теории параметрической чувствительности, которая эффективно применяется для анализа процессов обработки материалов давлением [11–15].

Под чувствительностью понимается свойство технологической системы операции вытяжки коробчатых деталей изменять свои выходные характеристики/параметры при изменении/вариации входных параметров. Функции чувствительности могут быть представлены в абсолютной и относительной (характеризуют степень влияния относительных погрешностей входных параметров на относительную погрешность выходных, являются безразмерными величинами) форме и отражают связь между погрешностями геометрических размеров штампуемых деталей и погрешностями технологического процесса или операции; и позволяют выполнить расчет точности геометрических параметров. При наличии модели в виде аналитического выражения, связывающей входные и выходные параметры, функции чувствительности определяются дифференцированием этого выражения или разложением его в ряд Тейлора. Полученные функции чувствительности и их численные значения (коэффициенты преобразования) позволяют выполнить анализ точности контура кромки открытого торца квадратных коробок и раскрыть процесс формирования погрешности контура кромки в зависимости от случайных и систематических погрешностей; функции чувствительности и коэффициенты преобразования с учетом реальных значений относительных погрешностей позволяют определить ряд входных параметров исходной заготовки и непосредственно процесса вытяжки для управления качеством получаемой коробчатой детали посредством их (параметров) дополнительного контроля, наложения ограничений на величину их возможных значений, подбор оптимальных взаимных соотношений, и, как следствие, аналитически прогнозировать точность кромки открытого торца квадратных коробок.

Теория параметрической чувствительности на основе системного подхода при наличии аналитических выражений, описывающих исследуемый процесс или операцию, является универсальным инструментом для выполнения аналитического исследования и прогнозирования точности. Расчеты, полученные на основе положений теории параметриче-

ской чувствительности, могут быть дополнены регрессионным и дисперсионным анализом на основе расчетных и экспериментальных данных.

### Список литературы

1. Малышев А.Н., Бысов С.А., Кухарь В.Д., Бессмертная Ю.В. Экспериментальное исследование вытяжки стальных квадратных коробок по схеме «круг-квадрат» в радиальной и конической матрице // Черные металлы. – 2022. – № 5. – С. 74–78.
2. Малышев А.Н. Исследование процесса изотермической вытяжки низких квадратных коробок из анизотропного материала на основе положений теории параметрической чувствительности // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула; Издательство ТулГУ. – 2022. – Вып.7. – С. 438–450.
3. ГОСТ 27.004-85. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1986.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., Л.: Машиностроение, 1979г. 520с.: ил.
5. Справочник по листовой штамповке: учебное пособие. Демин В.А., Львович К.Д., Маркин П.В., Семенов В.И., Феофанова А.Е. Под ред. Демина В.А. и Семенова Е.И. – М.: МГИУ, 2011. – 177с.
6. ABAQUS: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/simulia/produkty/abaqus/> – Дата обращения: 16.10.2023.
7. PAM-STAMP: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esi-russia.ru/products/pam-stamp>. – Дата обращения: 16.10.2023.
8. QForm3D: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qform3d.ru>. – Дата обращения: 16.10.2023.
9. Deform: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tesis.com.ru/>. – Дата обращения: 16.10.2023.
10. Шестаков Н.А., Соловьев Б.М. Методика обратного проектирования оптимального контура заготовки для штамповки коробчатых изделий // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула; Издательство ТулГУ. – 2013. – Вып.4. – С.21–27.
11. Ланской Е.Н. Общий метод анализа жесткости прессов для объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. – 1969. – № 5. – С. 29–32.
12. Антонюк Ф.И. Анализ и обеспечение высокой точности холодной объемной штамповки на прессах научно обоснованным выбором жесткости элементов технологической системы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук – М., 2004.
13. Антонюк Ф.И., Ланской Е.Н. Точность холодной объемной штамповки на кривошипных прессах в штампах с упорами и без упоров. Часть 2. Обратное выдавливание и штамповка в закрытом штампе // КШП. ОМД. – 2004. – № 1. – С. 19–29.
14. Ланской Е.Н., Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Точность поковок, изготавливаемых холодной объемной штамповкой на кривошипных и гидравлических прессах // КШП. ОМД. – 2002. – № 1. – С. 25–29.
15. Антонюк Ф.И., Логутенкова Е.В., Малышев А.Н. Анализ точности холодной штамповки выдавливанием стержневых изделий с фланцами на кривошипных прессах. Фундаментальные исследования. 2015. № 4. С. 11–15.

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕЛ КАЧЕНИЯ

Пищальников Я.И., студент группы 4А02  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: yip5@tpu.ru

Передачи с промежуточными телами качения (ПТК) все чаще используются в современных механизмах, что вынуждает увеличивать их выпуск. Однако, возникает трудность при изготовлении, в особенности при производстве самих тел. Процесс является затратным, как по времени, так и по ресурсам, вдобавок ко всему, высокие требования к точности детали и шероховатости многократно усложняет производственный процесс. Изготовления деталей с заданными параметрами для передач с ПТК является задачей, которая остро стоит перед производителями. Поэтому подбор соответствующих режимов механообработки с целью получения заложенных параметров является актуальным, и по сей день.

ПТК, в данном случае ролик (рис. 1) является ответственной деталью, с помощью которых, осуществляется работа всего механизма [1].



Рис. 1. Промежуточное тело качения

Основными параметрами при резании являются: скорость резанья ( $v_p$ ), подача ( $S$ ), глубина ( $t$ ). Сравнение режимов резанья будет проводиться по этим трём параметрам. Так как изготавливаемая деталь – тело вращения, значит рассматриваемая операция – токарно-винторезная. Режимы резанья рассчитаем следующим образом:

Материал инструмента Т15К6.

Материал заготовки 45ХН2МФА  $\sigma_B = 1450$  МПа.

I. Вариант:

Глубина резанья,  $t$  мм:

$$t = (d_3 - d_k) / 2 = (6 - 3,4) / 2 = 1,3 \text{ мм};$$

Подача,  $S$  мм/об:

$$S \text{ (мм/об)} = 0,1$$

Скорость резанья,  $v$  м/мин:

$$v = (C_v * K_v) / (T^m * t^x * S^y) = (340 * 0,475) / (15^{0,18} * 1,3^{0,15} * 0,1^{0,45}) = 269,5 \text{ м/мин};$$

Поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{Mv} * K_{Pv} * K_{Iv} = (K_{rv} * (750 / \sigma_B)) * K_{Pv} * K_{Iv} = \\ = (1 * (750 / 1450)) * 0,8 * 1,15 = 0,475;$$

Период стойкости  $T = 15$  мин

Таблица 1

m	x	y
0,18	0,15	0,45

Частота вращения заготовки,  $n$  об/мин:

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi d_3) = (1000 \cdot 269,5) / (3,14 \cdot 75) = 1145 \text{ об/мин};$$

Сила резанья,  $P_{zyx}$  Н:

$$P_x = 10 \cdot C_{vx} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 269,5^{-0,3} \cdot 1,88 = 236,95 \text{ Н};$$

$$P_y = 10 \cdot C_{vy} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 269,5^{-0,3} \cdot 2,25 = 229,7 \text{ Н};$$

$$P_z = 10 \cdot C_{vz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 269,5^{-0,3} \cdot 0,98 = 139,5 \text{ Н};$$

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\text{гр}};$$

$$K_{pz} = 1,88;$$

$$K_{px} = 2,25;$$

$$K_{py} = 0,98;$$

II. Вариант:

Глубина резанья,  $t$  мм:

$$t = (d_3 - d_k) / 2 = (6 - 3,4) / 2 = 1,3 \text{ мм};$$

Подача,  $S$  мм/об:

$$S \text{ (мм/об)} = 0,2$$

Скорость резанья,  $v$  м/мин:

$$v = (C_v \cdot K_v) / (T^m \cdot t^x \cdot S^y) = (340 \cdot 0,475) / (15^{0,18} \cdot 1,3^{0,15} \cdot 0,2^{0,45}) = 196,95 \text{ м/мин};$$

Поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{\text{Пв}} \cdot K_{\text{Ив}} = (K_{rv} \cdot (750/\sigma_B)) \cdot K_{\text{Пв}} \cdot K_{\text{Ив}} = \\ = (1 \cdot (750/1450)) \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,475;$$

Период стойкости  $T = 15$  мин

Таблица 2

$m$	$x$	$y$
0,18	0,15	0,45

Частота вращения заготовки,  $n$  об/мин:

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi d_3) = (1000 \cdot 196,95) / (3,14 \cdot 75) = 836 \text{ об/мин};$$

Сила резанья,  $P_{zyx}$  Н:

$$P_x = 10 \cdot C_{vx} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 196,95^{-0,3} \cdot 1,88 = 437,81 \text{ Н};$$

$$P_y = 10 \cdot C_{vy} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 196,95^{-0,3} \cdot 2,25 = 412,6 \text{ Н};$$

$$P_z = 10 \cdot C_{vz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 196,95^{-0,3} \cdot 0,98 = 269,5 \text{ Н};$$

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\text{гр}};$$

$$K_{pz} = 1,88;$$

$$K_{px} = 2,25;$$

$$K_{py} = 0,98;$$

III. Вариант:

Глубина резанья,  $t$  мм:

$$t = (d_3 - d_k) / 2 = (6 - 3,4) / 2 = 1,3 \text{ мм};$$

Подача,  $S$  мм/об:

$$S \text{ (мм/об)} = 0,3$$

Скорость резанья,  $v$  м/мин:

$$v = (C_v \cdot K_v) / (T^m \cdot t^x \cdot S^y) = (340 \cdot 0,475) / (15^{0,18} \cdot 1,3^{0,15} \cdot 0,3^{0,45}) = 164,79 \text{ м/мин};$$

Поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{\text{Пв}} \cdot K_{\text{Ив}} = (K_{rv} \cdot (750/\sigma_B)) \cdot K_{\text{Пв}} \cdot K_{\text{Ив}} = \\ = (1 \cdot (750/1450)) \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,475;$$

Период стойкости  $T = 15$  мин

Таблица 3

m	x	y
0,18	0,15	0,45

Частота вращения заготовки, n об/мин:

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi \cdot d_3) = (1000 \cdot 164,79) / (3,14 \cdot 75) = 700 \text{ об/мин};$$

Сила резанья,  $P_{zyx}$  Н:

$$P_x = 10 \cdot C_{vx} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 164,79^{-0,3} \cdot 1,88 = 620,4 \text{ Н};$$

$$P_y = 10 \cdot C_{vy} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 164,79^{-0,3} \cdot 2,25 = 601,42 \text{ Н};$$

$$P_z = 10 \cdot C_{vz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 164,79^{-0,3} \cdot 0,98 = 365,4 \text{ Н};$$

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\tau p};$$

$$K_{pz} = 1,88;$$

$$K_{px} = 2,25;$$

$$K_{py} = 0,98;$$

Полученные результаты представим в табл. 4

Таблица 4

I	II	III
269,5 м/мин	196,95 м/мин	164,79 м/мин

Проведя измерения полученных деталей при разных режимах, полученные результаты также внесём в таблицу № 5

Таблица 5

ei	ei	ei
-0,07	-0,064	-0,06

Исходя из полученных результатов, можно прийти к выводу, что при низких скоростях резанья, диаметральные размеры получаемой детали попадают в допуск. В случае же увеличения скорости резания размеры приближаются к предельному размеру, что дальнейшем может привести к браку.

### Список литературы

1. Горбунов Б.И. «Обработка металлов резаньем, металлорежущий инструмент и станки»;
2. Косилова А.Г. «Справочник технолога-машиностроителя».

## ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ СВОБОДНОМ ТОЧЕНИИ

*Ефимович И.А.<sup>1</sup>, Золотухин И.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, Институт промышленных технологий  
и инжиниринга, доцент

E-mail: efimovichia@tyuiu.ru;

<sup>2</sup> Тюменский индустриальный университет, Институт промышленных технологий  
и инжиниринга, старший преподаватель

E-mail: zolotuhinis@tyuiu.ru

Температура является ключевым фактором, определяющим протекание процесса резания. При этом основной источник тепла расположен в зоне контакта стружки с передней поверхностью режущего клина, однако нет единого мнения о месте расположения точки максимальной температуры и ее величине. Значения температур, получаемых широко распространенными методами естественной термопары, инфракрасной термометрии и термоиндикаторами, имеют большие расхождения. Тепловизоры обладают относительно малым пространственным разрешением, требуют определения коэффициента излучения, зависящего от температуры и качества поверхности, а интерференция на окисных пленках вносит существенную погрешность в измерения температуры.

Для преодоления недостатков существующих методов разработан новый способ [1, 2], основанный на регистрации полей температурной деформации с помощью лазерной интерферометрии. Для этого используется интерферометр типа Физо (рис. 1), в котором эталонный луч образуется при частичном отражении луча лазера от поверхности А оптического клина 1, а прошедшая часть является рабочим лучом. После отражения рабочего луча от полированной поверхности Б инструмента 2 и совмещения его с эталонным образуется интерференционная картина, несущая информацию о поле температурной относительной деформации в каждой его точке:  $\varepsilon_i = (B_i - B_0) \cdot B_0^{-1} = (m_i - m_0) \cdot \lambda \cdot n^{-1} \cdot B_0^{-1}$ , где  $B_0$  и  $B_i$  – толщина в точке  $i$  соответственно для холодного (при  $T=20$  °С) и нагретого режущего клина,  $m_0$  и  $m_i$  – порядки интерференционных линий в точке  $i$  соответственно для холодного и нагретого клина,  $\lambda$  – длина волны лазера,  $n$  – коэффициент преломления рабочей среды. Температура в точке  $i$  определяется по предварительно полученной на dilatометре [3] зависимости  $T = f(\varepsilon)$ . Чтобы получить в процессе обработки интерференционную картину деформаций без силовой составляющей на заготовке 3 выполнен паз.

Для определения распределения температур в режущем клине при свободном резании разработан экспериментально-расчетный метод, включающий регистрацию поля температурной деформации с помощью лазерной интерферометрии и расчет методом конечных элементов. Граничными условиями (рис. 2) являются полученные из эксперимента размеры ( $C$  и  $b$ ) площадки контакта стружки с передней поверхностью, температурная деформация  $\Delta B = B_i - B_0$  вдоль режущей кромки и эпюра температур  $T_i$  на поверхности цилиндрического сечения радиусом  $R$ . Расчет осуществляется путем автоматического поиска величины плотности равномерно распределенного теплового потока  $q_i$ , обеспечивающего заданную  $\Delta B$ .

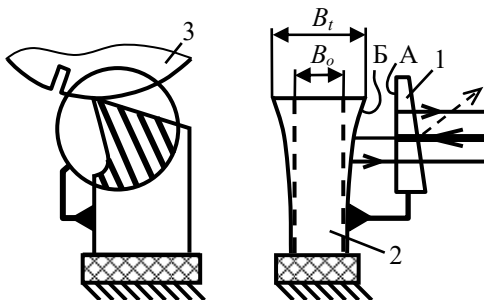


Рис. 1

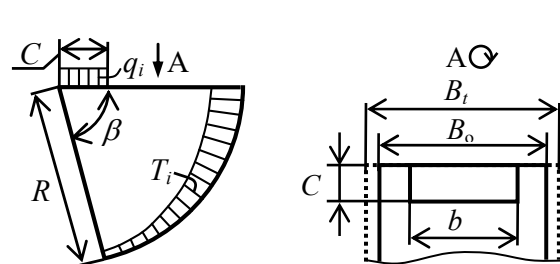


Рис. 2



На разработанной лазерно-интерферометрической установке [2, 4] получены интерференционные картины (рис. 3) полей температурной поперечной деформации острозаточенного резца ( $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ;  $B = 4,7$  мм) из ВК8 при свободном точении дисков из 13Х11Н2В2МФ (ЭИ961) с условиями резания:  $S = 0,15$  мм/об,  $V = 48$  м/мин, ширина среза  $b = 1,2; 2,5; 3,7; 4,3$  мм. Скорость съемки составляла 16 тыс. кадр/с с выдержкой 2 мкс. Расчет температурных полей на передней поверхности осуществлен в ANSYS.

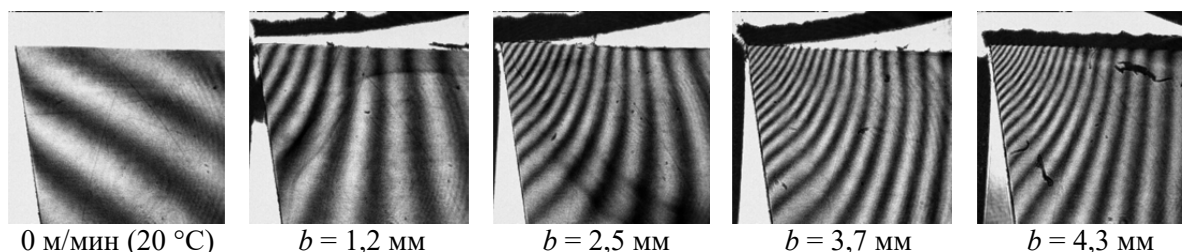


Рис. 3. Интерферограммы при свободном точении

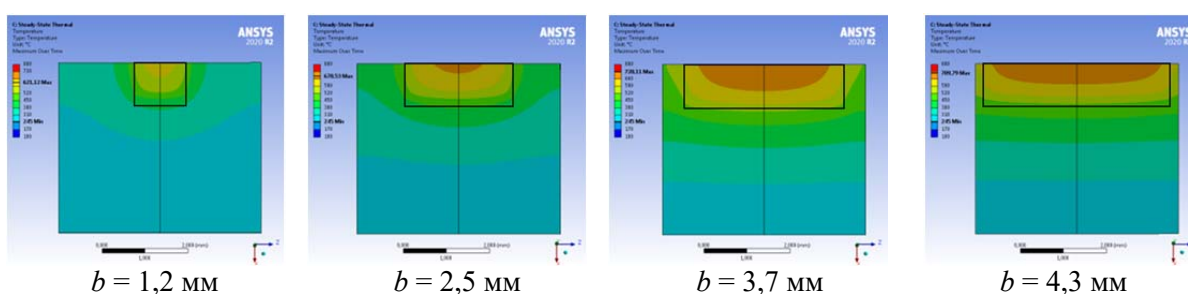


Рис. 4. Температурные поля передней поверхности резца

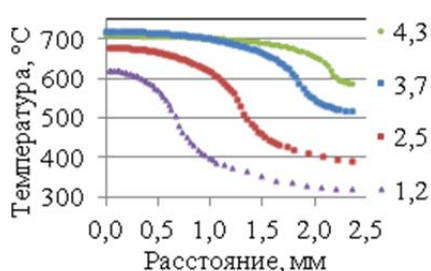


Рис. 5. Этюры температур вдоль режущей кромки резца

Установлено, что: 1) максимальная температура при свободном точении наблюдается в плоскости симметрии вблизи режущей кромки (рис. 4); 2) при свободном точении температурное состояние режущего клина в пределах трех длин контакта стружки с передней поверхностью не может рассматриваться в рамках плоской задачи из-за неравномерности распределения температур по толщине клина (рис. 5), вызванной неминуемым различием в ширине стружки и длине режущей кромки.

### Список литературы

1. Патент РФ 2442967, МПК G01K 5/48, B23Q 11/00. Способ определения температурных полей в режущей части инструмента в процессе резания / И.А. Ефимович, И.С. Золотухин, Е.И. Швецова (РФ) – № 2010134543/28; Заявл. 18.08.10; Опубл. 20.02.12, Бюл. № 5.
2. Ефимович И.А., Золотухин И.С. Исследование напряженно-деформированного и температурного состояния режущей части инструмента с использованием лазерной интерферометрии // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 79–92. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-79-92.
3. Ефимович И.А., Золотухин И.С., Завьялов Е.С. Температурный коэффициент линейного расширения вольфрамокобальтовых твердых сплавов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 129–140. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.3-129-140.
4. Патент РФ 151653, МПК G01B 11/16. Интерферометрическая установка / И.А. Ефимович, И.С. Золотухин, В.И. Ефимович (РФ) – № 2014138554/28; Заявл. 23.09.14; Опубл. 10.04.15, Бюл. № 10.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ СВЕРЛЕНИИ СПИРАЛЬНЫМИ СВЕРЛАМИ

Чэн Х.<sup>1</sup>, Бибик В.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: hunlyan1@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: bibik@tpu.ru

Сверла в основном используются для получения разного рода отверстий в сплошном материале – глухих, сквозных. Также сверла зачастую используются для последующей обработки (рассверливания) уже имеющегося отверстия. Данная операция помогает получить более точное отверстие. В настоящее время актуальные сверла способны получить отверстие достаточно высокого качества точности (до Н10).

Выпускаются следующие разновидности сверл: спиральные, перовые, одностороннего резания (пушечные, оружейные), кольцевые, комбинированные. В последние годы появились весьма эффективные сверла с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Наиболее широко применяются спиральные сверла.

Как и при точении, на температуру резания при сверлении скорость резания оказывает большее влияние, чем подача температура при резании возрастает с увеличением глубины (длины) сверления, но уменьшается с увеличением диаметра сверла из-за усиления теплоотвода вследствие большей массы сверла и большей поверхности соприкосновения с заготовкой, а также вследствие облегчения подвода охлаждающей жидкости и отвода стружки по канавкам большего сечения).

Для моделирования процессов распространения тепла при сверлении в работе используется система ANSYS. В системе ANSYS процесс моделирования проходит определенные этапы, куда входят: построение геометрической модели, построение конечно-элементной сетки, задание свойств материалов, задание граничных условий, расчет и анализ результатов. Использование этой системы снижает трудоемкость анализа за счет увеличения репрезентативности результатов.

Для моделирования бы ли выбраны сверла нормальной точности, с геометрическими размерами, представленными на рис 1, 2 и в таблицах 1 и 2. Геометрические параметры – на рис. 3. Для различных конструкционных материалов применяются различные формы заточки, которые перечислены в табл.3.

Материал режущей части сверла Р6М5. Сталь Р6М5 относится к группе инструментальных высокоуглеродистых быстрорежущих сталей повышенной твёрдости и износостойкости, предназначенных для изготовления металлорежущего инструмента – свёрл, развёрток, зенкеров, фрез и пр., а также инструмента для пластического деформирования сталей (накатников, пуансонов, матриц и т. д.). Сталь Р6М5 отличается повышенной износостойкостью и прочностью в условиях ударного нагружения, а потому эффективна также для изготовления инструмента холодного выдавливания и прессования.

Физические характеристики Р6М5:

- плотность – 8300 кг/м<sup>3</sup>;
- коэффициент теплопроводности – 20,4 Вт/м·град;
- удельная теплоёмкость – 510 Дж/кг·град;
- коэффициент термического расширения – 13,1 мкм/град;
- модуль упругости – 210 ГПа.

Механические свойства:

- предел временного сопротивления – 3200–3600 МПа;
- твёрдость по Роквеллу – 62...66 HRC;
- ударная вязкость, кДж/м<sup>2</sup> – 42;
- красностойкость – 620 °С.

В компас 3D были созданы модели инструмента и детали, которые представлены на рис. 4.

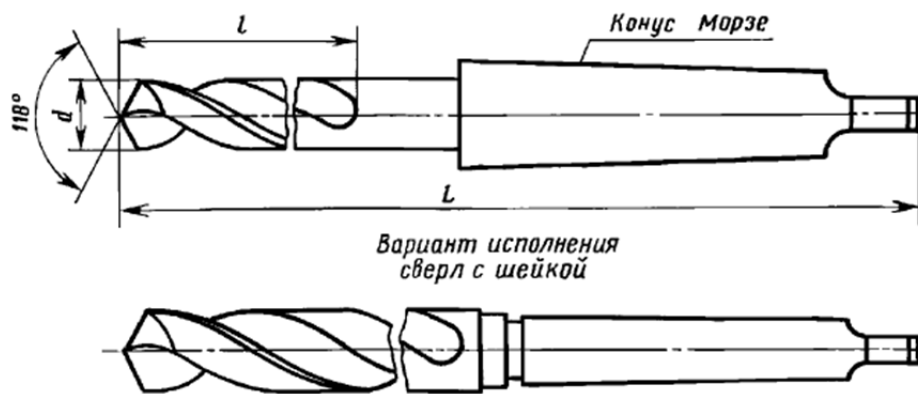


Рис. 1. Основные размеры спиральных сверл с коническим хвостовиком

Таблица 1

Основные размеры спиральных сверл с коническим хвостовиком

Обозначение	$d$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	Конус Морзе
2301-3032	20,00	140	238	2
2301-0050	15	114	212	2
2301-0028	10	87	168	1
2301-3001	5	52	133	1

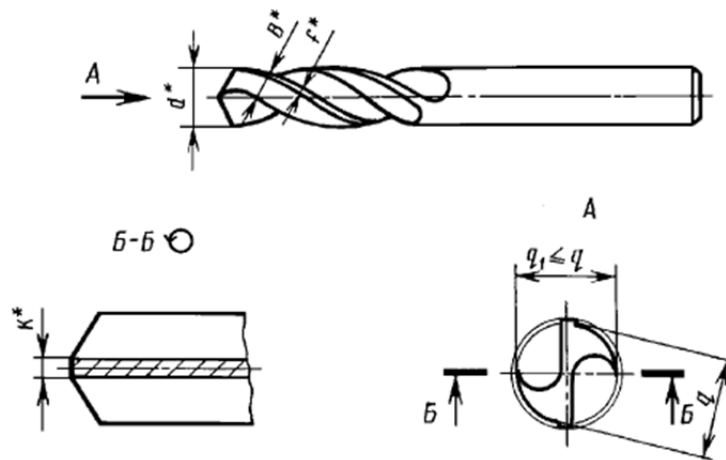


Рис. 2. Конструктивные элементы сверл по ГОСТ 4010-77

Таблица 2

Конструктивные элементы сверл по ГОСТ 4010-77

$d$ , мм	$B$ , мм	$f$ , мм	Сердцевина сверла $K$ , мм	$q$ , мм
20,00	11,8	1,85	2,85	18,50
15,00	8,90	1,50	2,15	13,90
10,00	5,90	1,00	1,50	9,20
5,00	3,00	0,66	0,75	4,50

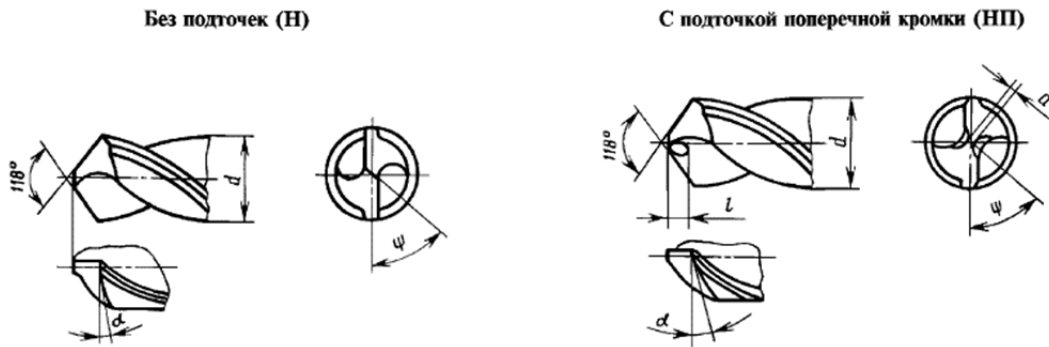


Рис. 3. Геометрические параметры режущих элементов сверла

Таблица 3

Формы заточки сверл

Форма заточки	Обрабатываемый материал
Нормальная Н	Сталь, стальное литье, чугун
Нормальная с подточкой поперечной кромки НП	Стальное литье с $\sigma_B$ до 500 МПа (50 кгс/см <sup>2</sup> ) с неснятой коркой
Нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки НПЛ	Сталь и стальное литье с $\sigma_B$ до 500 Мпа (50 кгс/мм <sup>2</sup> ) со снятой коркой
Двойная с подточкой поперечной кромки ДП	Стальное литье с $\sigma_B$ более 500 МПа (50 кгс/мм <sup>2</sup> ) с неснятой коркой и чугун с неснятой коркой
Двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки ДПЛ	Сталь и стальное литье с $\sigma_B$ более 500 Мпа (50 кгс/мм <sup>2</sup> ) со снятой коркой
Двойная с подточкой и срезанной поперечной кромкой ДП-2	Чугун со снятой коркой

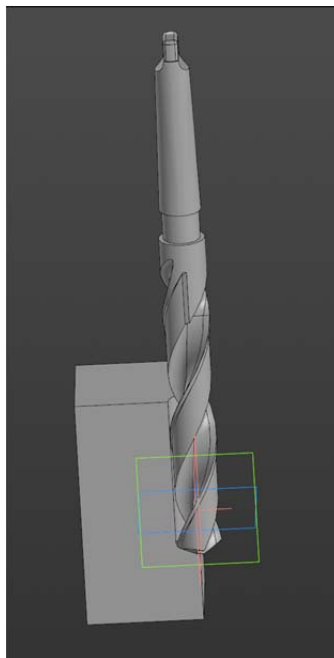


Рис. 4. 3D модель инструмента и детали

В качестве обрабатываемого материала была выбрана сталь конструкционная легированная 40Х, которая может использоваться при производстве деталей повышенной прочности: оси, валы, вал-шестерни, плунжеры, штоки, коленчатые и кулачковые валы, кольца, шпиндели, оправки, рейки, губчатые венцы, болты, полуоси, втулки и другие.

Для определения тепловых нагрузок в зоне резания были рассчитаны режимы резания при сверлении для станка 2Н125, которые представлены в табл. 4.

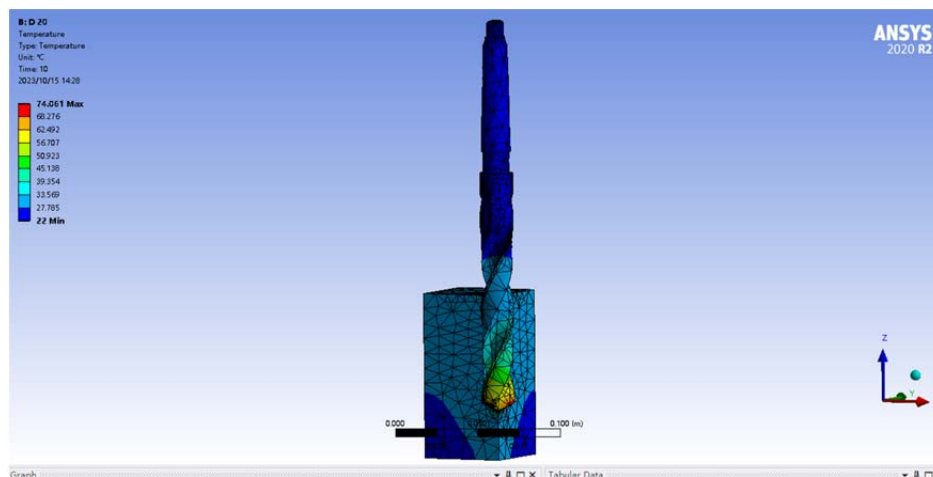
Результаты моделирования температур и тепловых потоков в системе ANSYS для сверла диаметром 20 мм представлены на рисунке 5.

В результате расчетов было установлено, что температура в зоне резания для сверл диаметром 5, 10, 15 и 20 мм при данных режимах резания не превышает 100 °С. В дальнейшем предполагается проверка полученных данных экспериментальным путем.

Таблица 4

*Результаты расчета режимов резания и тепловых нагрузок на режущий инструмент*

Диаметр сверла, мм	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Мощность резания, кВт	Крутящий момент, Н·м	Тепловой поток на 1 кромку, Вт/м,
5	0,2	22	0,32	2,2	66935
10	0,2	27	0,65	8,9	65626
15	0,28	24	1,33	26,0	74719
20	0,28	27	1,65	45,0	69408



*Рис. 5. Результаты моделирования*

### Список литературы

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.: ил.
2. Резников А.И. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.И. Резников – М.: Машиностроение, 1991. – 279 с.: ил.
3. Барсов А.И., Технология инструментального производства. Учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 4-е, исправленное и дополненное. М., «Машиностроение», 1975 – 272 с. с ил. – Текст: непосредственный.
4. Драгун А.П., Режущий инструмент. – Л.: Лениздат – 1986. 271 с., ил. – (Для молодых рабочих).
5. ГОСТ 10903-77 Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры.
6. ГОСТ 4010-77 Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия. Основные размеры.
7. ANSYS Mechanical APDL Thermal Analysis Guide. // сайт. – 2013. – URL: <https://dokumen.tips/documents/ansys-mechanicalfasdfasfs-apdl-thermal-analysis-guide.html>

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ОКРУЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ В ТРЕХМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Чжан Ц.<sup>1</sup>, Лысак Г.В.<sup>2</sup>, Сатимов Ш.Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТПУ ИШНПТ ОМШ гр. 4АМ21,

E-mail: chj12@tpu.ru;

<sup>2</sup>ТПУ ИШНПТ ОМШ гр. 4АМ2К,

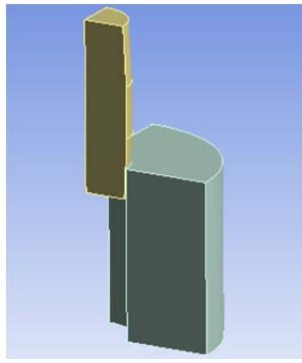
E-mail: gvl2@tpu.ru

Метод дорнования является одним из наиболее распространенных способов улучшения усталостной прочности отверстий малого диаметра в стальных деталях. Он заключается в создании вокруг отверстия в материале дополнительной зоны компрессии путем сжатия металла с помощью специального инструмента – дорна. Этот метод имеет как свои преимущества, так и недостатки, которые необходимо учитывать при его применении. Одним из главных преимуществ метода дорнования является его эффективность в улучшении усталостной прочности отверстий малого диаметра. Создание зоны компрессии вокруг отверстия препятствует развитию усталостных трещин, возникающих в этой зоне при циклических нагрузках, и тем самым повысить устойчивость к разрушению отверстий. Кроме того, метод дорнования позволяет улучшить качество поверхности отверстия, что может быть важно при работе с высокопрочными материалами. Однако, метод дорнования также имеет свои недостатки, которые необходимо учитывать при его применении. Во-первых, этот метод требует специального оборудования и квалифицированных специалистов, что может повлиять на стоимость производства. Кроме того, при неправильном подборе параметров дорнования или недостаточной глубине зоны компрессии, метод может привести к образованию микротрещин в материале, что может снизить его прочность. Тем не менее, метод дорнования имеет широкое применение в различных областях машиностроения. Он наиболее эффективен при работе с высокопрочными материалами, такими как сталь высокой прочности или титан, также метод хорошо зарекомендовал себя при обработке конструкционных сталей и алюминиевых сплавов. Метод дорнования может быть использован для улучшения усталостной прочности отверстий в различных деталях, например, в корпусах двигателей или шасси самолетов. Метод дорнования нашел широкое применение в различных областях машиностроения и продолжает развиваться и совершенствоваться.

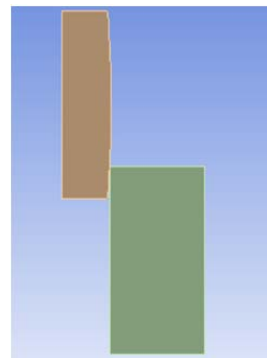
Таким образом, метод дорнования является эффективным способом улучшения усталостной прочности отверстий малого диаметра в металлических деталях. Он позволяет повысить устойчивость к разрушению и улучшить качество поверхности отверстия. Однако, необходимо подбирать параметры процесса для достижения наилучших результатов. Экспериментальное исследование протекающих при дорновании процессов и напряженно-деформированного состояния весьма затруднительно [1, 2], поэтому перспективно использовать методы инженерного анализа, основанные на применении CAE систем [3, 4]. Настоящая работа посвящена созданию двумерной осесимметричной математической модели напряженно-деформированного состояния стальной детали с отверстием, обрабатываемым дорнованием и ее валидации путем сравнения результатов расчета с использованием двумерной осесимметричной и трехмерной моделей с использованием системы инженерного анализа ANSYS.

С учетом симметрии сборки, трехмерная модель может быть упрощена, достаточно рассчитать одну четверть 3D модели. Для двумерной модели применено условие осевой симметрии (рис. 1). Модели материалов назначены для дорна – ВК8, для втулки – сталь 50 с учетом возможности пластической деформации и кинематического упрочнения. Дорн перемещается вдоль отверстия втулки с постоянной скоростью 6 мм/с, основание втулки жестко закреплено.





3D модель



2D модель

Рис. 1. Геометрическое представление объемной (3D) и плоской осесимметричной (2D) моделей

Результаты расчетов с использованием трехмерной модели представлены на рис. 2. Результаты расчетов с использованием двумерной осесимметричной модели представлены на рис. 3.

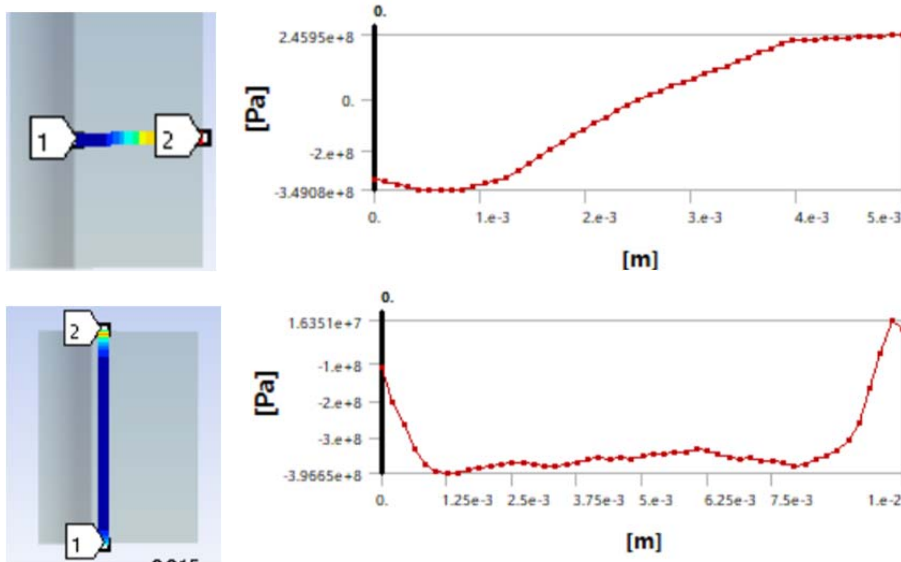


Рис. 2. Окружные остаточные напряжения в радиальном и осевом направлениях при расчете с использованием 3D модели

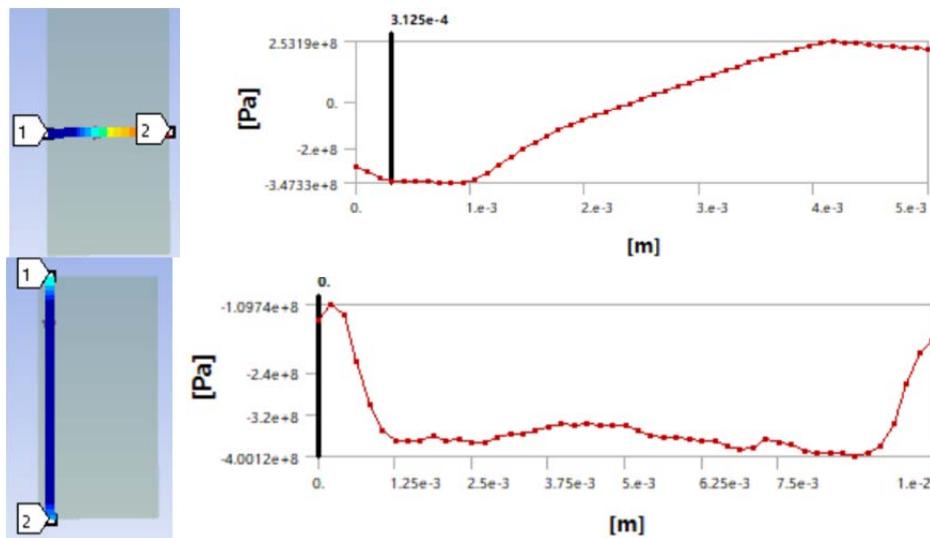


Рис. 3. Окружные остаточные напряжения в радиальном и осевом направлениях при расчете с использованием 2D модели

При движении дорна через отверстие втулки втулка явно деформировалась, при этом происходила как упругая деформация, так и пластическая, диаметр отверстия во втулке становился больше, а радиальные напряжения увеличивались с увеличением расстояния от отверстия. По мере увеличения расстояния вдоль траектории движения дорна нормальное напряжение постепенно увеличивается с самого начала, далее остается стабильным, а затем постепенно уменьшается. Сравнительные диаграммы остаточных напряжений в осевом и радиальном направлениях представлены на рис. 4.

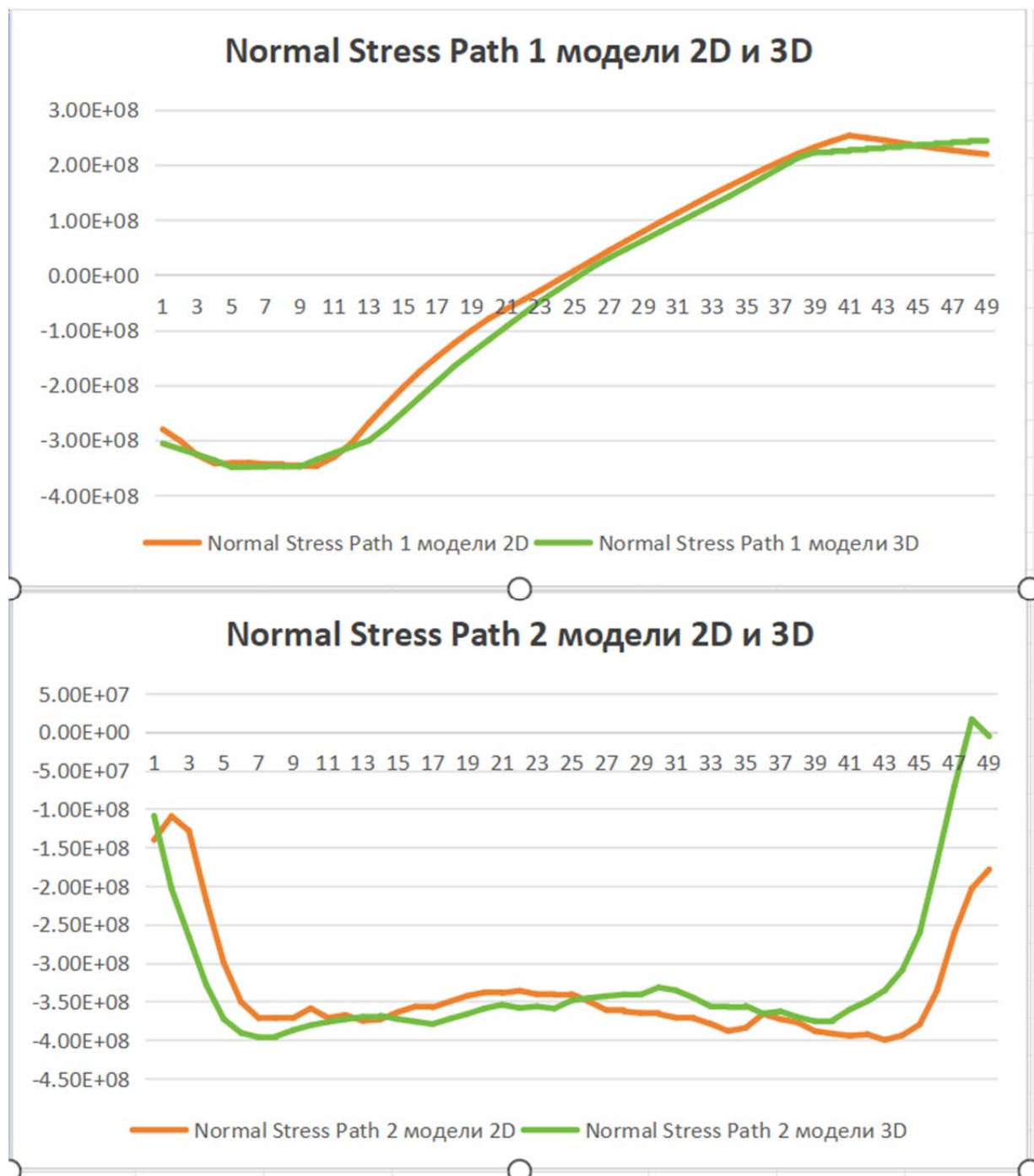


Рис. 4. Сравнительные диаграммы остаточных напряжений в осевом и радиальном направлениях, полученные при расчете с использованием 3D и 2D моделей

Из представленных данных видно, что кривые остаточных окружных напряжений в радиальном направлении в среднем сечении втулки, полученные при использовании двумерной и трехмерной моделей, практически полностью совпадают. Похожая картина наблюдается при сопоставлении графиков окружных напряжений в осевом направлении.



Несколько различаются их значения лишь в области выхода дорна из отверстия. Таким образом, можно заключить, что двумерная осесимметричная модель напряженно деформированного состояния обеспечивает получение приемлемых по точности результатов, что подтверждает правомерность принятых допущений.

Использование математической модели процесса дорнования в двумерной осесимметричной постановке является более перспективным по сравнению с моделью в трехмерной постановке с учетом симметрии по нескольким причинам. Во-первых, двумерная осесимметричная модель позволяет значительно упростить расчеты и сократить время, необходимое для получения результатов. Это особенно важно при работе с большими объемами данных, которые часто встречаются в области машиностроения. Кроме того, упрощенная модель позволяет лучше понять физические процессы, происходящие в материале во время дорнования за счет большей детализации расчетной сетки. Во-вторых, использование двумерной модели позволяет более точно учесть особенности деформированной геометрии отверстия. Двумерная осесимметричная модель позволяет проводить более детальный анализ влияния различных параметров на процесс дорнования. В перспективе, возможно исследовать влияние диаметра отверстия, глубины зоны компрессии и других параметров на усталостную прочность отверстия. Это может помочь оптимизировать процесс дорнования и достичь наилучших результатов.

Таким образом, использование математической модели процесса дорнования в двумерной осесимметричной постановке 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. Это может существенно повысить эффективность и точность процесса дорнования в машиностроении.

#### **Список литературы**

1. Ge E.D., Fu Y.C., Su H.H., Xu J.H., ChenXue M. Study on residual stresses and fatigue properties of TC21 titanium alloy plate bores by cold extrusion // Rare metal materials and engineering. 2016. 45(05). p.1189-1195.
2. Yan W.Z., Wang X.S., Gao H.S., et al. Effect of Split Sleeve Cold Expansion on Cracking Behaviors of Titanium Alloy TC4 Holes // Engineering Fracture Mechanics. 2012, 88. p. 79–89.
3. Лю Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенных втулок после обработки одноцикловым дорнованием с использованием комплекса ANSYS / Ю. Лю, И.А. Лысак // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 25–30 октября 2021 г. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – С. 99–100.
4. Лысак И.А. Численное исследование остаточных напряжений в цилиндрических образцах, подвергнутых одноцикловому дорнованию по схеме сжатия / И.А. Лысак, Ю. Лю, Г.В. Лысак // Ползуновский альманах. – 2021. – № 4. – с. 33-35.

# ПРОБЛЕМА СВАРИВАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ТОЛЩИН ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ 36НХТЮ И 12Х18Н10Т ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОТОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТИ

Каргин А.М.<sup>1</sup>, Киселев А.С.<sup>2</sup>, Гордынец А.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНКБ, АЗ-22, аспирант,

E-mail: amk20@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНКБ, ОЭИ, к.т.н. доцент,

E-mail: kas@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНКБ, ОЭИ, к.т.н. доцент,

E-mail: asgord@tpu.ru

## Аннотация

В данном обзоре рассматривается проблема свариваемости деталей малых толщин из разнородных материалов 36НХТЮ и 12Х18Н10Т при изготовлении поточного преобразователя плотности нефти. Тонкостенные детали, различия в химическом составе и структуре данных материалов создают определенные трудности при проведении сварочных работ и в конечном итоге влияют на качество и надежность получаемой конструкции. В статье представлен обзор литературы и проведен сравнительный анализ свариваемых материалов, а также рассмотрены различные методы сварки, применяемые для преодоления указанных проблем.

## Введение

В современном нефтегазовом машиностроении требуется разработка и производство сложных технических устройств и конструкций, обладающих повышенной точностью и надежностью. Одним из таких устройств является поточный преобразователь плотности нефти, способный измерять и контролировать плотность нефтепродуктов в режиме реального времени. Однако, при изготовлении измерительных элементов таких преобразователей (рис. 1) существует проблема, свариваемости разнородных материалов (36НХТЮ и 12Х18Н10Т) из которых изготовлены детали прибора поз. 3 и поз. 4.

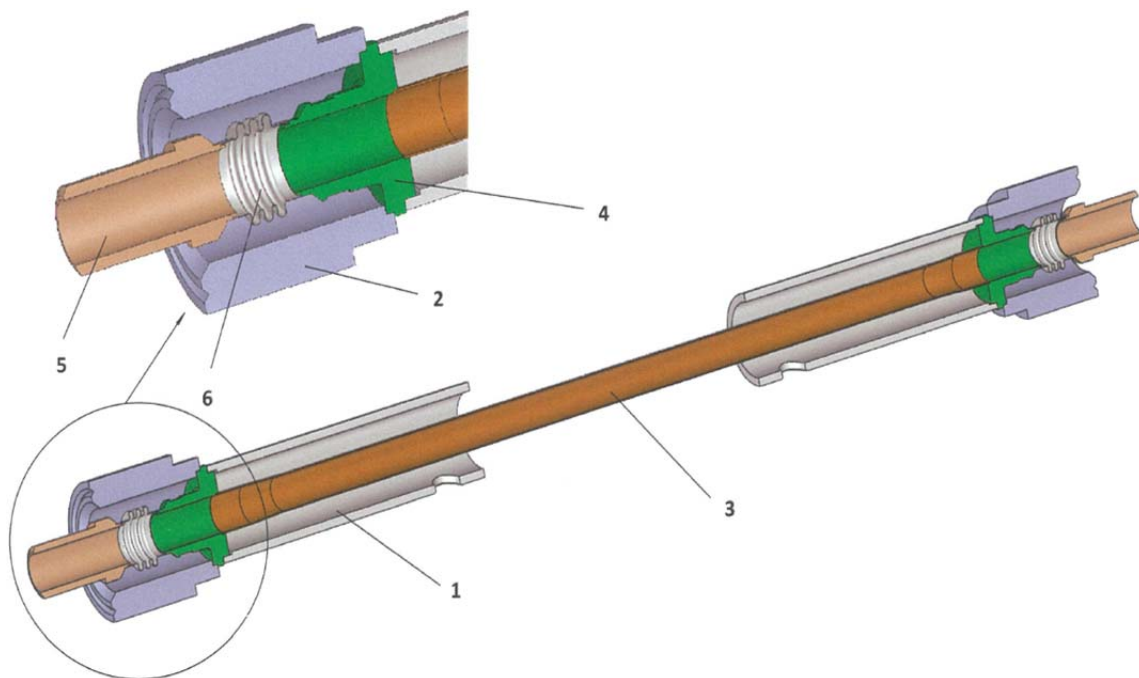


Рис. 1. Конструкция ИЭР «ТН-Плотномер»:

1 – стакан большой, 2 – балласт, 3 – труба резонаторная (36НХТЮ),  
4 – гильза внутренняя (12Х18Н10Т), 5 – гильза внешняя, 6 – сифлон

Основные геометрические размеры и конструктивные элементы свариваемых деталей согласно ГОСТ 14771-76 представлены на (рис. 2).

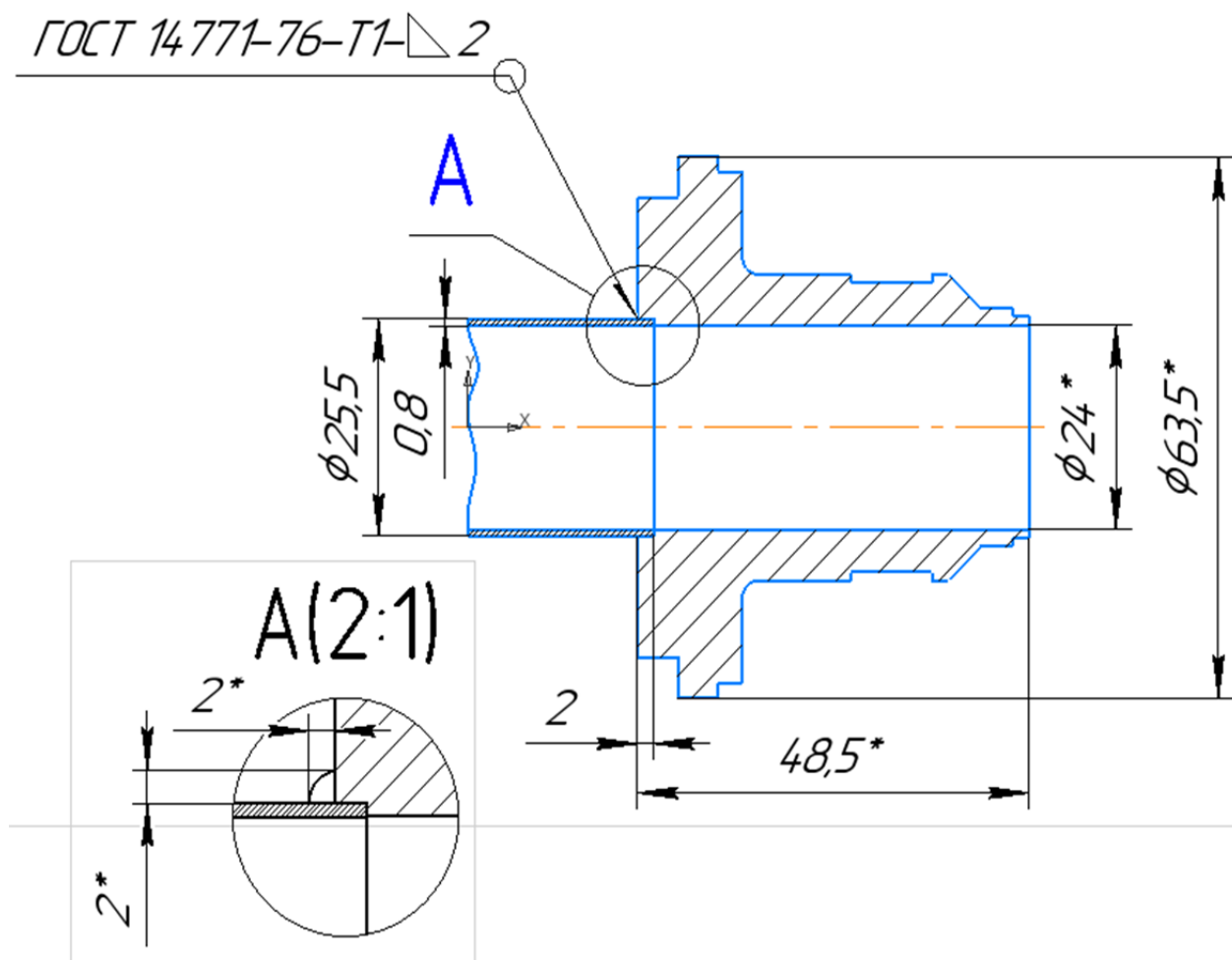


Рис. 2 Основные геометрические размеры и конструктивные элементы свариваемых деталей

### Описание проблемы

Так как материалы 36НХТЮ и 12Х18Н10Т представляют собой разнородные компоненты, имеющие различные химические свойства и механические характеристики. Это создает трудности при сварке, что влияет на качество и надежность преобразователя плотности нефти [1].

### Анализ свариваемых материалов

Материал 36НХТЮ является высокопрочным сплавом, содержащим никель, хром и титан, обладающими хорошей коррозионной стойкостью и механической прочностью. Однако, данный сплав сложно сваривается с другими сплавами и металлами из-за высокой активности элементов в его составе [2].

Материал 12Х18Н10Т представляет собой аустенитную нержавеющую сталь с высоким содержанием хрома и никеля, обладающую высокой прочностью и устойчивостью к коррозии. Однако, данный материал также имеет свои особенности в процессе сварки [2].

Химический состав (табл. 1) и механические свойства (табл. 2) указанных материалов отечественного производства должны соответствовать требованиям ГОСТ 10994-74.

Таблица 1

## Химический состав свариваемых материалов

Марка сплава/стали	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Ti, %	Al, %	Fe, %	S, %	Ph, %
36НХТЮ	≥0,05	0,3-0,7	0,8-1,2	11,5-13,0	35,0-37,0	2,7-3,2	0,9-1,2	остальное	≥0,02	≥0,02
12Х18Н10Т	≥0,12	≥0,8	≥2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	-	-		≥0,02	≥0,035

Таблица 2

## Механические свойства свариваемых материалов

Марка сплава/стали	$\sigma_b$ (МПа)	$\sigma_T$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	НВ 10 -1 (МПа)
36НХТЮ	1150-1250	800-1000	15	330-350
12Х18Н10Т	550-650	196	46-74	179

Эти стали имеют различные физические и химические свойства, что может привести к проблемам при сварке. Например, различные расширения при нагреве и охлаждении могут вызывать растрескивание сварного соединения или зоны его сплавления. Также возможны проблемы с образованием дефектов сварного шва, таких как поры, усадочные раковины или неполный провар.

Для решения проблемы свариваемости разнородных сталей марки 36НХТЮ и 12Х18Н10Т, необходимо использовать не только соответствующие методы сварки, но и подбирать оптимальные сварочные режимы и сварочные материалы. Это может помочь уменьшить риск образования интерметаллических фаз и повысить прочность сварных соединений. Также рекомендуется проводить предварительную подготовку материалов, включая зачистку зоны сварки от загрязнений и удаление окислов с помощью механической обработки или химическим способом [3].

**Методы и процессы сварки:**

Для соединения деталей малых толщин из данных материалов в нефтегазовом машиностроении традиционно применяют микроплазменную, электроннолучевую и лазерную сварку. Однако, к недостаткам перечисленных способов относятся высокие затраты на приобретение и последующую эксплуатацию специализированного оборудования.

Перспективным способом для сварки деталей малых толщин является применение одноимпульсной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. Широкому применению подобного способа сварки препятствует отсутствие рекомендаций по выбору технологических параметров и режимов сварки.

Данный метод позволит обеспечить достаточную плавность перехода между разнородными материалами и повысит прочность и качество сварного соединения.

### **Заключение**

Проблема свариваемости разнородных материалов 36НХТЮ и 12Х18Н10Т в нефтегазовом машиностроении при изготовлении поточного преобразователя плотности нефти является актуальной задачей и требует серьезного исследования. Для этого для сварки деталей малых толщин из разнородных сталей планируется применение одноимпульсной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. Дальнейшие исследования в этой области помогут способствовать развитию нефтегазового машиностроения и повышению эффективности и надежности выпускаемой по импортозамещению продукции. Внедрение и апробация результатов исследования планируется на АО «ТОМЗЭЛ» г. Томск.

### **Список литературы**

1. Smith W. (2018). Welding of Dissimilar Metals. *Journal of Materials Engineering*, 25(2), 127–138.
2. Zhang H., Wei L., & Zhao H. (2019). Study on Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Welds between 36NHTYU and 12Cr18Ni10T Steels. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1–9.
3. Lee C., Kim S., & Park S. (2020). Evaluation and control of interfacial microstructure in dissimilar metal welds between 304 stainless steel and carbon steel. *Journal of Welding Science and Technology*, 48(3), 216–224.

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Дин Ц.<sup>2</sup>, Чжан Х.<sup>3</sup>, Жуй М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, доцент ОМШ  
E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ21  
E-mail: czechu1@tpu.ru;

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ21  
E-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>4</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ31  
E-mail: 3359093873@qq.com;

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел. (3822)-606-389

При фрезеровании пазов и уступов чаще всего используются цельные фрезы из быстрорежущей стали или из твёрдого сплава (рис. 1, а). Твёрдосплавные фрезы имеют гораздо большую стойкость, но их стоимость очень большая. Поэтому при диаметре фрезы более 20 мм предпочтительнее использовать фрезы с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП). Если диаметр корпуса фрезы менее 25 мм используются фрезы с одной СМП (рис. 1, б).

Для оценки прочности СМП необходимо рассчитать её напряжённо-деформированное состояние (НДС). Чаще всего для этого используется программное обеспечение ANSYS [1].

Для расчёта методом конечных элементов (МКЭ) создаётся 3D модель режущей пластины (рис. 2), к которой в качестве внешней нагрузки прикладывается не сосредоточенные силы (рис. 3), а контактные напряжения (рис. 4), распределённые по выявленному закону (рис. 5) [2, 3, 4].

Поскольку измерить силы резания, действующие на зуб фрезы при фрезеровании невозможно из-за его непрерывного поворота, то принималось, что подобные нагрузки будут действовать на СМП при точении, если будет одинаковая толщина среза  $a = s \cdot \sin\varphi$ .

При фрезеровании толщина среза  $a = s_z \cdot \sin\psi_i$  непрерывно изменяется даже при постоянной подаче на зуб  $s_z$ , поэтому при расчёте НДС зуба фрезы к нему прилагалась нагрузка, действующая при наибольшей толщине среза  $a_{\max}$  (рис. 3 а).

Режим резания легированной стали фрезой со сменной многогранной пластиной (СМП) из твёрдого сплава Т15К6 без покрытия Н10 (обозначение марки твёрдого сплава по международному стандарту, используемому на Кировоградском заводе твёрдых сплавов, – легированный среднезернистый сплав Т15К6) при полуставном и черновом точении ( $s = 0,25–0,55$  мм/об,  $t = 1,6–4,1$  мм,  $v \approx 185$  м/мин), диапазон твёрдости обрабатываемой стали по Бринеллю от 180 до 350 НВ.



Рис. 1. Цельная концевая фреза (а) и сборная фреза с СМП (б)

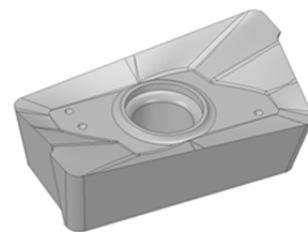


Рис. 2. 3D модель режущей пластины



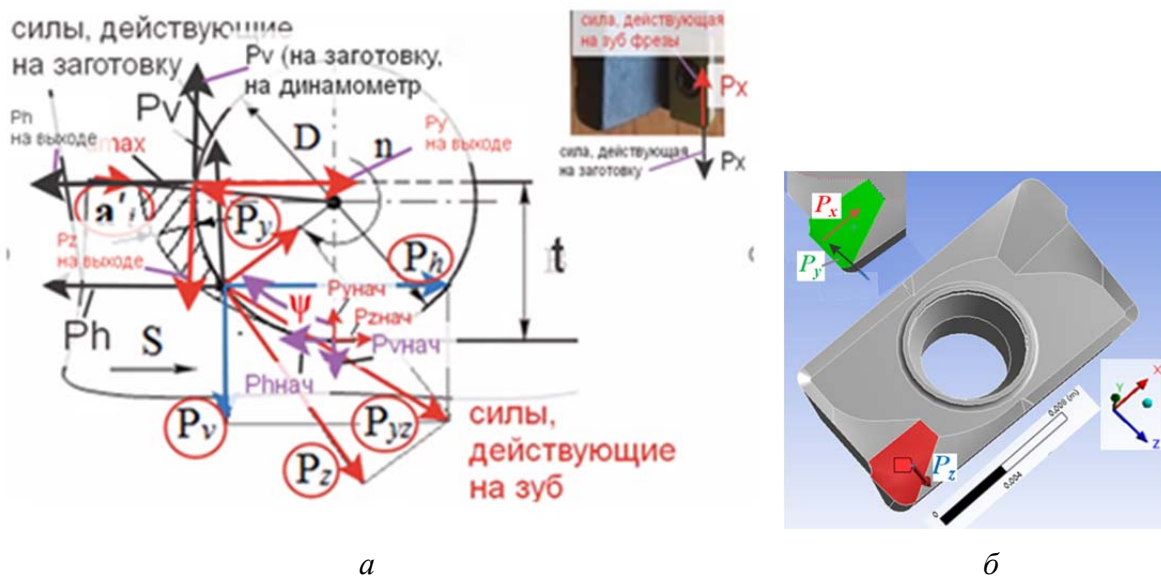


Рис. 3. Направление технологических составляющих  $P_h, P_v$  и  $P_x$ , действующих на заготовку (на динамометр) при фрезеровании (а), и сил  $P_y, P_x$  и  $P_z$  силы резания, действующих на зуб фрезы (б)

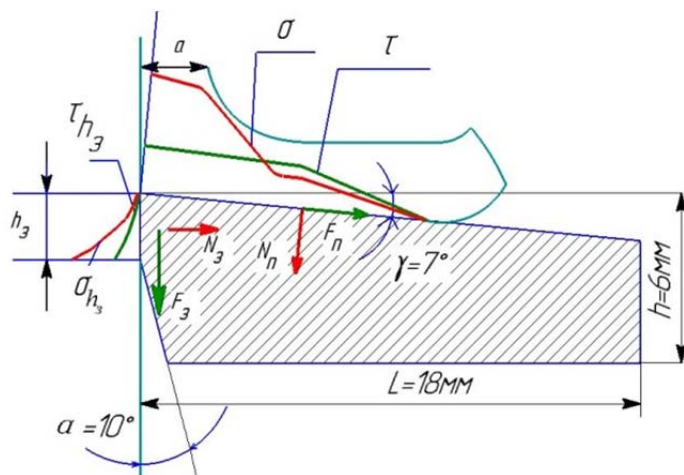


Рис. 4. Распределение нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности и нормальных  $\sigma_h$  и касательных  $\tau_h$  контактных напряжений на фаске задней поверхности в главной секущей плоскости упрощённой СМП концевой фрезы при обработке стали

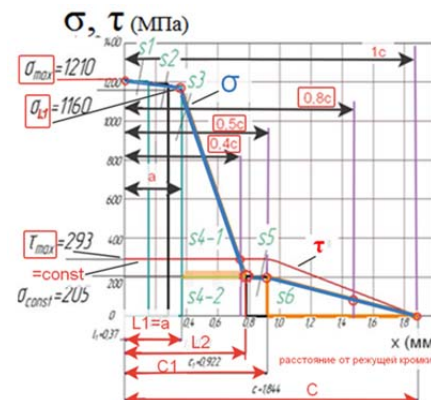


Рис. 5. Эпюры нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности СМП при обработке стали

Перед приложением сил на рабочие части нам нужно закрепить пластину (наложить внешние связи) с помощью программы ANSYS. ANSYS – это универсальный сеточный генератор, интегрированный в расчётную среду ANSYS Workbench, и позволяющий создавать конечно-элементную сетку автоматически или с участием пользователя. Размер сетки этой модели был первоначально установлен 0,2 мм, затем уменьшен для увеличения точности расчётов.

Чтобы исследовать влияние переднего угла  $\gamma$  на НДС режущей пластины фрезы создали серию моделей с разными передними углом  $\gamma$  и задним углом  $\alpha$ . Модель режущей пластины с  $\gamma = +7^\circ$  и  $\alpha = 15^\circ$  приведена на рис. 2.

Расчёты показали, что у СМП с увеличенным передним углом  $\gamma = +15^\circ$  при подаче 0,05 мм/об наибольшие эквивалентные напряжения у режущей кромки приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 5).



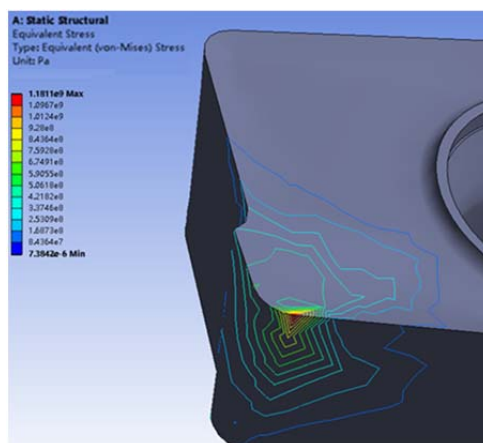


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в СМП с увеличенным передним углом  $\gamma = 15^\circ$

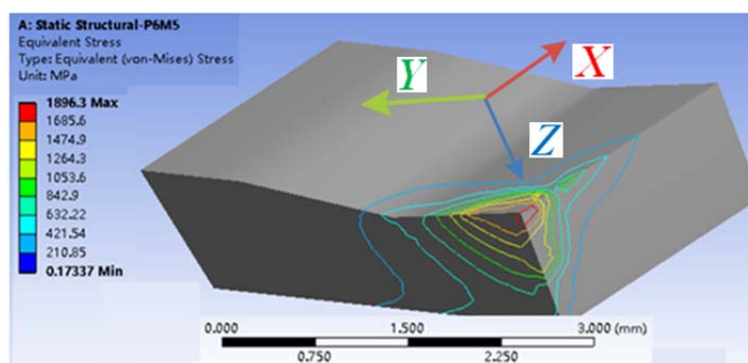


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в СМП с передним углом  $\gamma = 7^\circ$

Расчёты показали, что у СМП с  $\gamma=+7^\circ$  при увеличении подачи с 0,05 мм/об до 0,52 мм/об наибольшие внутренние напряжения увеличиваются почти в 1,5 раза и приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 6). Увеличение переднего угла с  $7^\circ$  до  $15^\circ$  при подаче  $s = 0,07$  мм/об приводит к увеличению  $\sigma_{\text{экр max}}$  в 1,2 раза.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Козлов В.Н., Чжан Ц., Шэ Л. Напряжённо-деформированное состояние режущей пластины при её износе // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – с. 123–125.
2. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца / В.Н. Козлов [и др.]; науч. рук. В.Н. Козлов // Молодежь и современные информационные технологии сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7–11 ноября 2016 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. В.С. Аврамчук [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – С. 350–352.
3. Козлов В.Н., Чжан Х., Петровский Е.Н. Построение эпюр контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – с. 94–97.
4. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126717>.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЁТА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ СТАЛИ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Бабаев А.С.<sup>2</sup>, Шевчук А.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, доцент ОМШ

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>Томский государственный университет, старший научный сотрудник

E-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru;

<sup>3</sup>Томский государственный университет, аспирант

E-mail: shvpro@yandex.ru;

При фрезеровании пазов и уступов чаще всего используются монолитные фрезы из быстрорежущих сталей или из твёрдых сплавов (рис. 1). Для расчёта составляющих силы резания используется расчёт тангенциальной силы резания  $P_z$  [1], по отношению к которой рассчитываются другие составляющие: сила подачи  $P_h$ , действующая вдоль направления минутной подачи  $s_{\text{мин}}$ ; боковая сила  $P_v$ , действующая перпендикулярно направлению подачи; осевая сила  $P_x$ , действующая вдоль оси фрезы (может быть направлена от заготовки и, наоборот, затягивать фрезу в заготовку из-за положительного угла наклона винтовой канавки  $\omega$  (рис. 1) при отсутствии износа зубьев фрезы по уголкам; радиальная сила  $P_y$ , действующая на зуб фрезы по направлению к оси вращения фрезы.

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{\text{Мр}} \quad (1)$$

где  $t$  – глубина фрезерования (ширина уступа) (мм);  $s_z$  – подача на зуб (мм/зуб);  $B$  – ширина фрезерования (высота уступа) (мм);  $z$  – количество зубьев фрезы (шт);  $D$  – диаметр фрезы (мм);  $n$  – частота вращения фрезы (об/мин).

Минутная подача рассчитывается по формуле:  $s_{\text{мин}} = s_z \times z \times n$  (мм/мин). Направление минутной подачи на рис. 1 показано для попутного фрезерования, т. е. в направлении вращения фрезы (от наблюдателя).

Силы  $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_x$  изменяют свою величину, но не изменяют своего направления при вращении фрезы, а силы  $P_z$  и  $P_y$  изменяют своё направление (рис. 2), поэтому их невозможно измерить с помощью динамометра. Их величина зависит от ширины фрезерования, подачи на зуб и от величины центрального угла  $\psi$  (угла контакта), который при встречном фрезеровании отсчитывается от точки врезания зуба в заготовку (рис. 2). При попутном фрезеровании этот угол  $\psi$  отсчитывается от точки выхода зуба из контакта с заготовкой до текущего положения зуба.

При фрезеровании уступа на стальной заготовке концевой фрезой из быстрорежущей стали диаметром  $D$  до 16 мм и глубине фрезерования  $t$  от 1 до

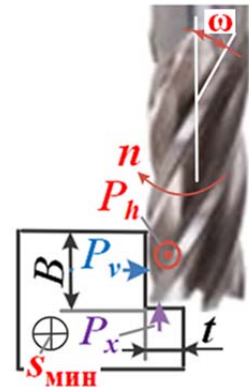


Рис. 1. Элементы режима резания и технологические силы  $P_h$ ,  $P_v$ ,  $P_x$ , действующие на фрезу при попутном концевом фрезеровании

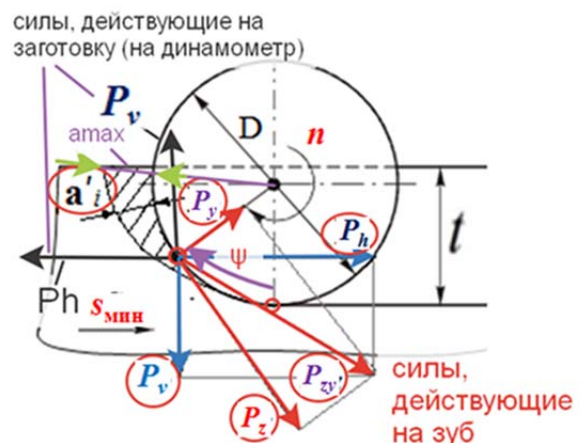


Рис. 2. Направление технологических составляющих  $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_x$ , действующих на заготовку (на динамометр) при встречном фрезеровании, и сил  $P_z$  и  $P_y$ , действующих на зуб фрезы

3 мм рекомендуется использовать подачу на зуб  $s_z = 0,08-0,05$  мм/зуб [1]. Ширина фрезерования  $B$  при этом не оговаривается, но обычно  $B < D/3$ .

При фрезеровании стальной заготовки концевой фрезой из **твёрдого сплава** диаметром  $D$  до 16 мм и глубине фрезерования  $t$  до 3 мм рекомендуется использовать подачу на зуб  $s_z = 0,02-0,06$  мм/зуб как при черновом, так и при чистовом фрезеровании.

При работе с подачами для чистового фрезерования достигается параметр шероховатости  $Ra = 0,8...1,6$  мкм как по горизонтальной, так и по вертикальной поверхности уступа. Шероховатость по горизонтальной поверхности уступа в меньшей степени зависит от подачи на зуб, т. к. она обрабатывается вспомогательной режущей кромкой зуба (на торце фрезы), поэтому при вращении фрезы многократно обрабатывается всеми зубьями фрезы.

При фрезеровании паза в стальной заготовке концевой фрезой из быстрорежущей стали диаметром  $D$  до 16 мм, т. е. при глубине фрезерования  $t = D$  рекомендуется использовать подачу на зуб  $s_z = 0,01$  мм/зуб при пределе прочности на растяжение конструкционной стали  $\sigma_b < 750$  МПа, а при обработке сталей более высокой прочности подачи рекомендуется снижать на 20-40 % [1]. Ширина фрезерования  $B$  (глубина паза) при этом зависит от глубины паза вала  $t_1$  по стандарту (ГОСТ 23360-78 или СТ СЭВ 189-75) (обычно  $B = t_1 \approx D/2,7$ ) или не оговаривается, но обычно  $B < D/2$ .

В ходе проведения стойкостных испытаний фрез диаметром 16 мм из твёрдого сплава марки ВК8 при обработке уступа глубиной 8 мм (ширина фрезерования  $B = 8$  мм) и шириной 1 мм (глубина фрезерования  $t = 1$  мм) в заготовке из стали 45 при измерении составляющих силы резания динамометром Kistler были получены составляющие силы фрезерования (средняя величина при неизношенной фрезе):  $P_{v \text{ эксп}} = 420$  Н,  $P_h \text{ эксп} = 300$  Н,  $P_x \text{ эксп} = 220$  Н. Так как  $t/D < 0,06$ , то можно принять, что тангенциальная сила  $P_z \text{ эксп} \approx P_h \text{ эксп} = 300$  Н, а радиальная сила  $P_y \text{ эксп} \approx P_v \text{ эксп} = 420$  Н.

Таблица 1

*Физико-механические характеристики обрабатываемого материала*

Марка стали	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Твёрдость НВ	Группа обрабатываемости по ISO 513
Сталь 45	590	229±8	P

Фрезерование осуществлялось на фрезерном станке с ЧПУ мод. VF2 фирмы HAAS (США). Характеристики станка приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Технические характеристики станка VF2*

Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	8100
Макс. мощность шпинделя, кВт	22,4
Точность позиционирования, мм	±0,0050
Повторяемость перемещений, мм	±0,0025
Макс. перемещение по оси X, мм	762
Макс. перемещение по оси Y, мм	406
Макс. перемещение по оси Z, мм	508

Режимы фрезерования, согласно техническому заданию, были одинаковы для всех инструментов и приведены в табл. 3. Фрезерование осуществлялось с подачей в зону резания смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) марки IGAT PlatinCoolLowtemp на минеральной масляной основе.

## Режимы фрезерования во время испытаний

$t$ , мм	$B$ , мм	$v$ , м/мин	$n$ , об/мин	$s_z$ , мм/зуб ( $s_{\text{мин}}$ , или FDмм/мин)	$Q$ (см <sup>3</sup> /мин)
1	8	130	2586	0,09 (931)	7,45

*Примечание:*  $t$  – глубина фрезерования;  $B$  – ширина фрезерования;  $v$  – скорость резания;  $n$  – частота вращения фрезы (об/мин);  $F_z$  ( $s_{\text{мин}}$ ) – подача на зуб (минутная подача);  $Q$  – объём срезаемого материала.

Расчёт силы  $P_z$  для четырёхзубой концевой фрезы из твёрдого сплава без покрытия по данным справочника [1] (табл. 4):

$$P_{z \text{ расч.спр}} = \frac{10 \times C_p \times t^x \times s_z^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 1^{0,85} \times 0,09^{0,72} \times 8^1 \times 4}{16^{0,73} \times 2586^{-0,13}} \times 0,93 =$$

$$= 657 \times 2586^{0,13} / 7,568 = 657 \times 2,777 / 7,568 = 241,1 \text{ Н.}$$

где  $K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_v}{750} \right)^{n_v} = \left( \frac{590}{750} \right)^{0,3} = 0,93$ .

Таблица 4

*Коэффициент и показатели степени при расчёте силы резания  $P_z$ , указанные в справочнике [1]*

Материал концевой фрезы	$C_p$	$x$	$y$	$u$	$q$	$w$
Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Твёрдый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13

Из эксперимента было получено, что  $P_{z \text{ эксп}} \approx P_{h \text{ эксп}} = 300 \text{ Н}$ . Таким образом, погрешность расчёта по уравнению ( $P_{z \text{ расч. спр}}$ ) по данным из справочника (считаем, что измеренная сила  $P_{z \text{ эксп}} \approx P_{h \text{ эксп}}$  более близка к истинной):

$$\Delta P_{z \text{ расч. спр}} \approx [(P_{z \text{ эксп}} - P_{z \text{ расч. спр}}) / P_{z \text{ эксп}}] \times 100 \% = [(300 - 241) / 300] \times 100 \% \approx 19,7 \%$$

Используя рассчитанную тангенциальную силу резания  $P_{z \text{ расч. спр}}$  были рассчитаны и другие составляющие силы резания по указанным в справочнике соотношениям (таблица 5), учитывая работу по схеме несимметричного попутного фрезерования (см. рис. 1). Т. к. в справочнике указан диапазон изменения соотношения, то расчет выполнялся для крайних величин диапазона.

Таблица 5

*Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании по данным справочника [1]*

Фрезерование	$P_h/P_z$	$P_v/P_z$	$P_y/P_z$	$P_x/P_z$
<i>Фрезы торцовые и концевые, работающие по схеме торцового фрезерования * (см. рис. 2)</i>				
Несимметричное встречное	0,6 – 0,8	0,6 – 0,7	0,3 – 0,4	0,5 – 0,55
Несимметричное попутное	0,2 – 0,3	0,9 – 1,0	0,3 – 0,4	0,5 – 0,55

Сила подачи:  $P_{h \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,2 = 241 \times 0,2 = 48,2 \text{ Н}$ ;  $P_{h \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,3 = 72,3 \text{ Н}$ ;

Боковая сила:  $P_{v \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,2 = 241 \times 0,9 = 216,9 \text{ Н}$ ;  $P_{v \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 1,0 = 241 \text{ Н}$ ;

Радиальная сила:  $P_{y \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,3 = 241 \times 0,3 = 72,3 \text{ Н}$ ;

$P_{y \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,4 = 96,4 \text{ Н}$ ;

Осевая сила:  $P_{x \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,5 = 241 \times 0,5 = 120,5 \text{ Н}$ ;

$P_{x \text{ спр}} = P_{z \text{ расч. спр}} \times 0,55 = 132,55 \text{ Н}$ .

Сравнивая рассчитанные силы по данным справочника, видим, что сила подачи  $P_{h \text{ эксп}} = 300$  Н намного больше рассчитанной, даже при наибольшем коэффициенте соотношения 0,3:  $P_{h \text{ спр}} = 72,3$  Н. В этом случае погрешность расчёта составит  $\Delta P_{h \text{ спр}} \approx [(P_{h \text{ эксп}} - P_{h \text{ спр}})/P_{h \text{ эксп}}] \times 100 \% = [(300 - 72,3)/300] \times 100 \% \approx 75,9 \%$ .

Из этого следует, что при расчёте силы подачи  $P_h$  по отношению к тангенциальной составляющей  $P_z$  необходимо использовать коэффициент 1,0:  $P_{h \text{ эксп}}/P_{z \text{ эксп}} = 300/300 = 1,0$ .

Боковая сила  $P_{v \text{ эксп}} = 420$  Н намного больше рассчитанной, даже при наибольшем коэффициенте соотношения 1,0:  $P_{v \text{ спр}} = 241$  Н. В этом случае погрешность расчёта составит  $\Delta P_{v \text{ спр}} \approx [(P_{v \text{ эксп}} - P_{v \text{ спр}})/P_{v \text{ эксп}}] \times 100 \% = [(420 - 241)/420] \times 100 \% \approx 42,6 \%$ .

Поэтому при расчёте боковой силы  $P_v$  по отношению к тангенциальной составляющей  $P_z$  необходимо использовать коэффициент 1,4:  $P_{v \text{ эксп}}/P_{z \text{ эксп}} = 420/300 = 1,4$ .

Радиальная сила  $P_{y \text{ эксп}} = 420$  Н намного больше рассчитанной, даже при наибольшем коэффициенте соотношения 0,4:  $P_{y \text{ спр}} = 96,4$  Н. В этом случае погрешность расчёта составит  $\Delta P_{y \text{ спр}} \approx [(P_{y \text{ эксп}} - P_{y \text{ спр}})/P_{y \text{ эксп}}] \times 100 \% = [(420 - 96,4)/420] \times 100 \% \approx 77,0 \%$ .

Поэтому при расчёте радиальной силы  $P_y$  по отношению к тангенциальной составляющей  $P_z$  необходимо использовать коэффициент 1,4:  $P_{y \text{ эксп}}/P_{z \text{ эксп}} = 420/300 = 1,4$ .

Осевая сила  $P_{x \text{ эксп}} = 220$  Н намного больше рассчитанной, даже при наибольшем коэффициенте соотношения 0,55:  $P_{x \text{ спр}} = 132,55$  Н. В этом случае погрешность расчёта составит  $\Delta P_{x \text{ спр}} \approx [(P_{x \text{ эксп}} - P_{x \text{ спр}})/P_{x \text{ эксп}}] \times 100 \% = [(220 - 132,55)/220] \times 100 \% = 39,75 \%$ .

Поэтому при расчёте осевой силы  $P_x$  по отношению к тангенциальной составляющей  $P_z$  необходимо использовать коэффициент 0,73:  $P_{x \text{ эксп}}/P_{z \text{ эксп}} = 220/300 = 0,73$ .

Заносим полученные коэффициенты соотношения в табл. 6.

Таблица 6

*Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании по данным экспериментов для четырёхзубой концевой фрезы диаметром 16 мм из твёрдого сплава ВК8 без покрытия*

Фрезерование	$P_h/P_z$	$P_v/P_z$	$P_y/P_z$	$P_x/P_z$
Фрезы концевые, работающие по схеме торцового фрезерования * (см. рис. 2)				
Несимметричное попутное	1,0	1,4	1,4	0,73

Для расчёта коэффициента и показателей степеней по данным экспериментов необходимо построить зависимости в двойных логарифмических координатах:  $\lg P_{z \text{ эксп}} = f(\lg t)$ .

Расчёт силы  $P_z$  для четырёхзубой концевой фрезы из твёрдого сплава без покрытия по данным справочника ( $P_{z \text{ расч. спр}}$ ) [1] (табл. 4). При  $t=1$  мм:

$$P_{z \text{ расч. спр}} = \frac{10 \times C_p \times t^x \times s_z^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 1^{0,85} \times 0,09^{0,72} \times 8^1 \times 4}{16^{0,73} \times 2586^{-0,13}} \times 0,93 =$$

$$= 86,81 \times 2586^{0,13} \times 1^{0,85} = 86,81 \times 2,777 \times 1^{0,85} = 241,1 \times 1^{0,85} = 241,1 \times 1 = 241,1 \text{ Н.}$$

$$P_{z \text{ эксп}} \approx P_{h \text{ эксп}} = 300 \text{ Н.}$$

Расчёт силы  $P_z$  по данным справочника ( $P_{z \text{ расч. спр}}$ ) при  $t=8$  мм:

$$P_{z \text{ расч. спр}} = \frac{10 \times C_p \times t^x \times s_z^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} K_{Mp} = \frac{10 \times 12,5 \times 8^{0,85} \times 0,09^{0,72} \times 8^1 \times 4}{16^{0,73} \times 2586^{-0,13}} \times 0,93 =$$

$$= 241,1 \times 8^{0,85} = 241,1 \times 5,856 = 1412 \text{ Н.}$$

Полученные данные использовались при построении графиков на рис. 3.

Показатель степени в таблице справочнике и в эксперименте совпадают:  $x_{P_z \text{ расч. спр}} = \text{tg} \alpha = a/b = 90,5/104,4 = 0,86$ ;  $x_{P_z \text{ эксп}} = 0,86$ .

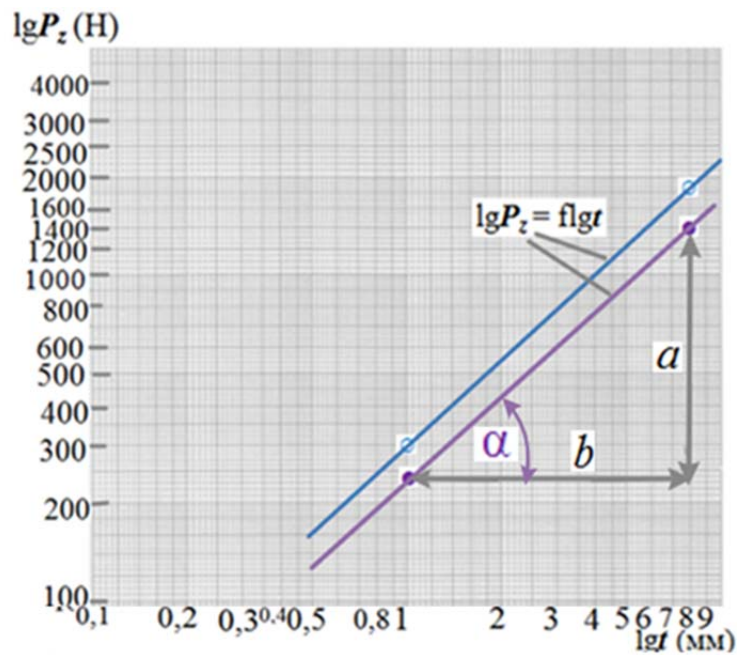


Рис. 3. Определение показателя степени  $x_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha = a/b = 90,5/104,4 = 0,86$  (графики на рис. 3 были существенно увеличены на мониторе компьютера для уменьшения погрешности при измерении размеров  $a$  и  $b$ ). ● – по расчёту силы  $P_{z \text{ расч. спр}} = f(t)$  из данных справочника [1]; ○ – из эксперимента

### Выводы

1. Рассмотрена физическая модель фрезерования концевой фрезой. Определены направления составляющих силы резания в зависимости от схемы фрезерования и условий разложения сил при измерении с использованием динамометра.

2. Проведены стойкостные испытания при фрезеровании конструкционной стали 45 фрезой из твёрдого сплава. Установлены значения составляющих сил резания.

3. С использованием данных справочника проведены вычисления силы резания  $P_z$ . По данным эксперимента выполнены расчёты степенных коэффициентов и рассчитана величина погрешности, возникающая при вычислении составляющих сил резания.

Исследование финансировалось Российским научным фондом, проект № 23-79-10166.

### Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т. 2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 2012. 496 с., ил.



## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Бабаев А.С.<sup>2</sup>, Семёнов А.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, доцент ОМШ

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>Томский государственный университет, старший научный сотрудник

НОЦ «Аддитивные технологии»

E-mail: a.s.babaev@mail.tsu.ru;

<sup>3</sup>Томский государственный университет, младший научный сотрудник

НОЦ «Аддитивные технологии»

E-mail: artems2102@yandex.ru

При резании стали в большинстве случаев образуется сливная стружка, поэтому зона первичных пластических деформаций достаточно большая (рис. 1). Для исследований и анализа процессов, происходящих в этой зоне, лучше рассматривать случай прямоугольного свободного резания при строгании пластины резцом, ширина которого  $b_p$  больше ширины строгаемой пластины  $b_{пл}$  минимум на 1–2 мм для предотвращения образования заусенца [1–4]. В этом случае все процессы будут одинаковы в любом сечении, перпендикулярном главной режущей кромке, независимо от расстояния до боковой поверхности резца. Поэтому наблюдение за боковой поверхностью пластины и резца даёт весьма близкое представление о процессах, происходящих в глубине рассматриваемой зоны.

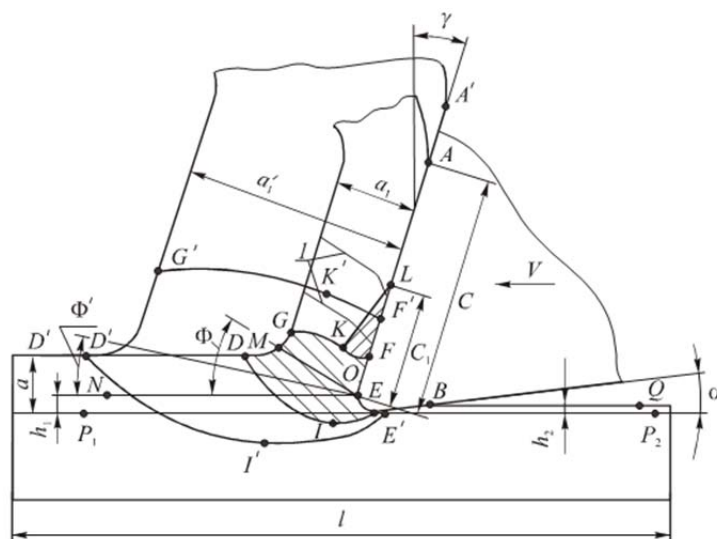


Рис. 1. Схема уругоупругой деформации в зоне стружкообразования при строгании пластины

При строгании резец движется со скоростью резания  $V$ . Толщина среза  $a$  при строгании равна глубине резания  $t$ . Теоретическая линия среза  $P_1-P_2$  касается вершины режущей кромки и параллельна направлению скорости резания [1, 2].

Практически всегда режущая кромка имеет округление радиусом  $\rho$  вследствие износа или неизбежно образуется в процессе обычной заточки инструмента. Попытки заточить на остро инструмент приводят к тому, что в самом начале резания эта острая режущая кромка неизбежно обламывается, а иногда даже только при прикосновении к ней пальцем. При резании часть металла в точке  $O$  вдавливается под радиусный участок и проходит под задней поверхностью резца. Поэтому фактически линия среза определяется линией  $N-O-E-B-Q$  [1, 2].

Толщина слоя  $h_1$ , вдавливаемого под режущую кромку металла, зависит от радиуса округления режущей кромки  $\rho$ , толщины среза  $a$ , температуры этой зоны и механических свойств обрабатываемого материала, определённых при этой температуре и при соответствующей скорости деформации  $\dot{\epsilon} = \epsilon/\Delta t$ , где  $\Delta t$  – промежуток времени, в течение которо-



го происходит деформация  $\varepsilon$ ; наличия нароста или застойной зоны обрабатываемого материала у режущей кромки. Обычно величина  $h_1$  составляет от нескольких долей микрометра при чистовой обработке до десятых долей миллиметра при черновой обработке при существенном округлении режущей кромки и отрицательном переднем угле, но при анализе явлений на передней поверхности инструмента в первом приближении ею можно пренебречь.

Величина упругого восстановления обработанной поверхности  $h_2$  немного меньше  $h_1$  и зависит от тех же факторов. Существенное уменьшение её величины оказывает выдавливание на боковые поверхности пластины, пластическая деформация металла в заготовке в зоне стружкообразования и под режущей кромкой. В некоторых случаях при обработке материалов с малым коэффициентом теплопроводности и при большом радиусе округления режущей кромки, что характерно при обработке титановых сплавов труднообрабатываемых групп, может наблюдаться даже перемещение (перетекание) обрабатываемого металла в состоянии сверхпластичности под режущей кромкой со скоростью больше, чем скорость резания, и с последующим восстановлением и увеличением вследствие этого величины  $h_2$ . От величины  $h_2$  в большой степени зависит глубина и, главное, степень пластической деформации обработанной поверхности, долговечность детали при её эксплуатации.

При движении резца перед ним образуется зона первичной пластической деформации, в которой обрабатываемый металл деформируется уже не только упруго, но и пластически, и изменяет направление своего движения на параллельное относительно передней поверхности инструмента. Начало этой зоны определяется кривой **D-I-E**, окончание – кривой **G-K-F**.

Скорость деформаций  $\dot{\varepsilon} = \varepsilon/\Delta t$  ( $\varepsilon = l - l_0$ ) в зоне стружкообразования очень большая, на несколько порядков больше, чем при обычных испытаниях образцов на разрыв или сжатие. Большое влияние здесь оказывает скорость резания и температура, которая увеличивается вследствие пластической деформации обрабатываемого материала в зоне первичных пластических деформаций. Большая часть деформаций и изменений происходит вблизи поверхности, определяемой линией **MO**.

Чем меньше пластичность металла и больше скорость резания, а значит и скорость деформаций, тем меньше величина зоны первичной пластической деформации **D-I-E-O-F-K-G**, тем больше она сужается до плоскости **MO**, которую называют условной плоскостью сдвига. Такое название эта область получила в связи с принятием упрощения: условно считается, что вся пластическая деформация происходит только в этой зоне и по этой плоскости происходит сдвиг обрабатываемого материала из слоя, подлежащего удалению, и преобразования его в стружку.

Чем пластичнее обрабатываемый материал, тем больше усадка стружки по толщине  $K_a = a_1/a$ , тем меньше угол условной плоскости сдвига  $\Phi$ . Угол  $\Phi$  зависит не только от пластичности обрабатываемого металла, но и от переднего угла  $\gamma$  и режимов резания:  $\text{tg } \Phi = \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma)$  [1, 2].

Процессы в зоне стружкообразования влияют не только на силы резания, но и на распределение контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента, на тепловыделение, на распределение температуры на передней и задней поверхностях, на износ инструмента, на качество обработанной поверхности и пр. Поэтому было выполнено множество исследований этой области.

Большинство из них выполняется при строгании пластины на вертикально-фрезерном станке, где пластина закрепляется в тисках на столе станка, шпиндель блокируется и на нём устанавливается резцедержатель с резцом. Продольная подача  $s_{\text{мин}}$  (мм/мин) назначается равной скорости резания  $v$  (или  $V$ ) (м/мин). В этом случае при резании положение резца не изменяется, поэтому можно установить видеокамеру и наблюдать изменения на боковой поверхности зоны резания. Все исследования можно разделить на несколько направлений.

1. Исследование деформаций в зоне стружкообразования методом сеток и лунок (рис. 2).

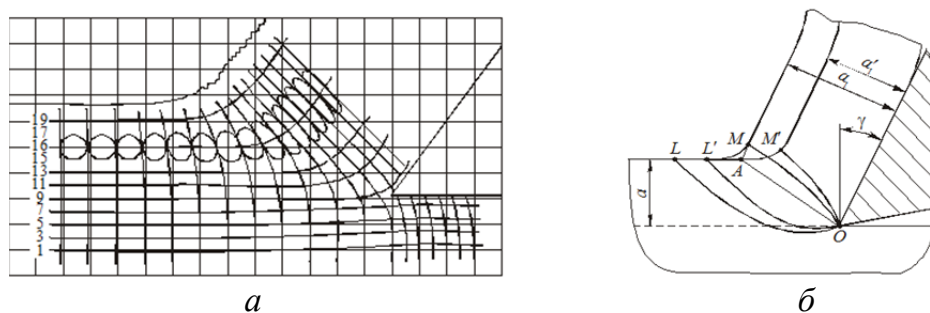


Рис. 2. Искажения координатной сетки (а), полученной методом вдавливания индентора (Г.Л. Куфарев) при строгании пластины и схема стружкообразования (б), характерная для обработки на микроскоростях

Для этого подготавливаются две абсолютно одинаковых пластины, они шлифуются и притираются друг к другу. После этого на их поверхностях, в последствие обращённых друг к другу, царапается сетка или индентором наносятся лунки (чем ближе друг к другу, тем лучше), пластины ещё раз немного притираются для удаления образовавшихся заусенцев или выпуклостей и для предотвращения даже небольших зазоров, но так, чтобы риски или лунки были различимы [1, 2].

После этого эти пластины подготовленными поверхностями друг к другу сжимаются в тисках. Это делается для того, чтобы при строгании выпучивание металла по бокам пластины не искажало получающуюся картину деформаций. Производится строгание, но не до конца по длине, чтобы осталась образующаяся стружка, ещё не отделённая от заготовок, так называемый «корень» стружки. Для этого как можно скорее резание прекращается (мгновенно), чтобы уменьшение скорости резания не привело к искажению процессов при установленной скорости резания. После этого пластины раскрепляются и анализируется получившаяся картина полос или лунок.

При резании на микроскоростях (несколько мм/мин) высокопластичных металлов (медь, латунь) по искажению делительной сетки, нанесенной на боковую поверхность среза в виде квадратов или окружностей (рис. 2, а), было доказано существование зоны стружкообразования клинообразной формы (рис. 2, б), имеющей начальную  $OA$  и конечную  $OM$  границы. Было установлено, что процесс пластической деформации начинается впереди резца на границе  $OL$ , имеющей криволинейную форму, которая в некоторых случаях располагается даже ниже теоретической линии среза.

Степень деформации обрабатываемого материала  $\epsilon$ , рассчитанная по искажению делительной сетки, в точках срезаемого слоя от линии  $OL$  к линии  $OM$  возрастает сначала медленно, а затем в зоне  $AOM$  с большей скоростью. Определяется поверхность, приближающаяся по форме к плоскости,  $OA$  – условная плоскость сдвига, проведенная из вершины резца в точку пересечения наружных поверхностей заготовки и стружки.

При увеличении скорости резания на обычных скоростях, применяемых в практике, усадка стружки уменьшается, а границы зоны  $OL$  и  $OM$  поворачиваются по ходу часовой стрелки и при этом ещё и сближаются, занимая, соответственно положения  $OL'$  и  $OM'$ . При этом толщина фактической зоны деформации в районе условной плоскости сдвига составляет десятые доли миллиметра. Поэтому после протравливания кислотой шлифов «корней» стружки эта зона выглядит как плоскость, разделяющая срезаемый слой и стружку. Особенно наглядно это видно по текстуре «корней» стружек, полученных при мгновенной остановке процесса резания сталей.

Сужение зоны деформации при резании объясняется тем, что с увеличением скорости резания возрастает скорость деформации  $\dot{\epsilon}$ , вследствие чего происходит запаздывание пластических деформаций. Это приводит к приближению границы  $OL$  к условной плоско-

сти сдвига  $OA$ . При этом верхняя граница  $OM$  также приближается к условной плоскости сдвига  $OA$ , а толщина зоны деформации  $AOM$  резко уменьшается.

## 2. Исследование методом измерения микротвёрдости (Г.Д. Дель) [1, 2].

В процессе пластической деформации у большинства металлов происходит его упрочнение (наклёп, нагортовка), поэтому по величине твёрдости судят о степени пластической деформации на различных участках зоны стружкообразования. Эти исследования показывают, что самая большая степень деформации наблюдается в достаточно узкой области вблизи условной плоскости сдвига, а также непосредственно на обработанной поверхности (или поверхности резания) при резании инструментом, имеющим большой износ по задней поверхности и большой радиус округления режущей кромки.

## 3. Исследование методом конечных элементов (МКЭ).

При этом можно говорить о двух направлениях этих исследований. В первом направлении на основании экспериментальных исследований процесса резания в целом и зоны стружкообразования создаётся 3D модель заготовки в зоне резания и режущего клина инструмента, находящегося в контакте с заготовкой и стружкой. Вводятся данные о длине контакта стружки с передней поверхностью  $c$ , о длине пластического контакта  $c_1$ , прилагается экспериментально определённое [1–5] или рассчитанное [6] распределение контактных напряжений на передней и задней поверхностях, распределение температуры в зоне стружкообразования и прилегающих областях, если таковые имеются, пусть только приблизительные. При этом предполагается, что рассматривается установившееся резание, поэтому температурные поля и распределение контактных напряжений по времени не изменяются.

При продвижении резца в срезаемом слое сначала возникают упругие деформации, которые увеличиваются по мере движения резца и перерастают в пластические в зоне первичных пластических деформаций. Увеличение пластической деформации до критической величины приводит к сдвигу небольшого объёма металла в зоне первичных пластических деформаций вдоль условной плоскости сдвига (рис. 2 и рис. 3). Образуется элемент стружки, затем другой и т. д. Все они двигаются вдоль передней поверхности до тех пор, пока на расстоянии  $c$  от режущей кромки не отделяются от передней поверхности.

Движению элементов стружки препятствует трение по передней поверхности, поэтому очень важно знать распределение (характер и величину на каждом участке) касательных контактных напряжений. Трение по передней поверхности придаёт дополнительную деформацию в области вторичных пластических деформаций. Вблизи режущей кромки на расстоянии от неё около  $0,4–0,6$  длины контакта  $c$  прирезцовая поверхность стружки не перемещается, т. к. под действием адгезии она схватывается (приваривается) с поверхностью инструмента. Поэтому вышележащие слои стружки перемещаются поверх этого прилипшего слоя, осуществляя пластический сдвиг. В связи с этим принимается термин «зона вторичных пластических деформаций». Фиксируемое контактное напряжение на этом участке не может быть больше предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала при действующей температуре и скорости деформации, что существенно усложняет его измерение при обычных испытаниях на сдвиг.

Исследования процесса стружкообразования и анализ шлифов корней стружки показывают [1, 2], что даже при образовании сливной стружки можно выделить маленькие элементы, которые под действием высокой температуры и давления плотно «свариваются» друг с другом, как это более отчётливо видно при образовании суставчатой стружки.

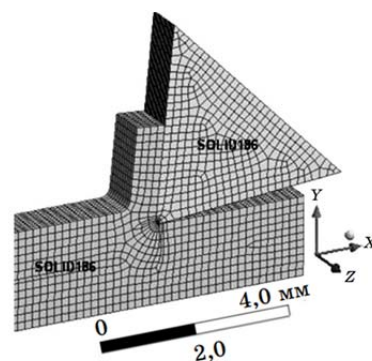


Рис. 3. 3D модель процесса строгания пластины с разбивкой на элементы SOLID 186 [8]

Наличие таких элементов при сливной стружке подтверждается зубчиками на внешней стороне стружки, хотя внутренняя (прирезцовая) гладкая и элементы практически не видны на боковой стороне сливной стружки.

Приложение нагрузок и малые перемещения резца со скоростью резания  $v$  позволяют рассматривать зону резания, разделённую на конечные элементы очень малых размеров, как статический объект с использованием программного обеспечения ANSYS.

При расчёте деформаций МКЭ принимаются граничные условия математической модели (см. рис. 3):

1) узлам, принадлежащим нижней и торцовой поверхности заготовки, запрещены всякие перемещения, т. е. рассматриваем как абсолютно жёсткое тело;

2) узлам, принадлежащим боковой поверхности заготовки, запрещены перемещения по оси  $OZ$ , т. е. допускаем отсутствие выпучивания обрабатываемого материала по боковым поверхностям;

3) узлам, принадлежащим поверхности заготовки на границе контакта с передней поверхностью резца, разрешены перемещения.

Задаются нормальные и касательные напряжения на поверхностях инструмента, после чего выполняется расчёт НДС в зоне стружкообразования.

Во втором направлении исследований МКЭ выполняется математическое моделирование, что позволяет выполнять исследование стружкообразования без проведения экспериментов [3–5, 7, 8]. Рассматривается процесс резания как деформация заготовки с заданными свойствами и закономерностями поведения.

Задаётся геометрия резца, внутри которой часто принимается отсутствие деформаций для уменьшения объёма вычислений. Задаются свойства заготовки и придаётся перемещение резцу. Программное обеспечение рассчитывает НДС зоны резания через определённые промежутки времени, задаётся моделирование (симуляция) деформаций и тепловыделений, происходящих в рассматриваемой зоне. Это наиболее сложный метод исследований.

Расчёт НДС зоны стружкообразования методом конечных элементов при строгании пластины из стали 45 с пределом текучести  $\sigma_T = \sigma_{0,2} = 250$  МПа, коэффициентом линейного расширения  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , модулем упругости Юнга при  $22 \text{ } ^\circ\text{C}$   $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$ ; модулем объёмной упругости  $1,666710^5$  МПа, модулем сдвига  $7,6923 \cdot 10^4$  МПа твёрдосплавным резцом (ВК8) показал, что при врезании резца в заготовку у главной режущей кромки возникают существенные напряжения, которые увеличиваются по мере продвижения резца в направлении вектора скорости резания  $v$ .

Анализ картин распределения напряжений в этой области позволяет выделить участки с наибольшей величиной эквивалентных напряжений  $\sigma_{e \max} = 256$  МПа (рис. 4) [8], которые располагаются в области условной плоскости сдвига (см. рис. 1, 2).

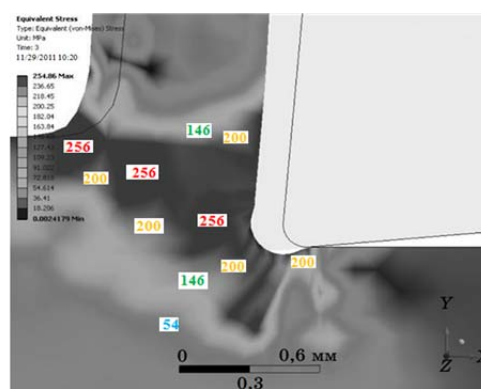


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений в заготовке при строгании пластины [8] (обработка авторов)

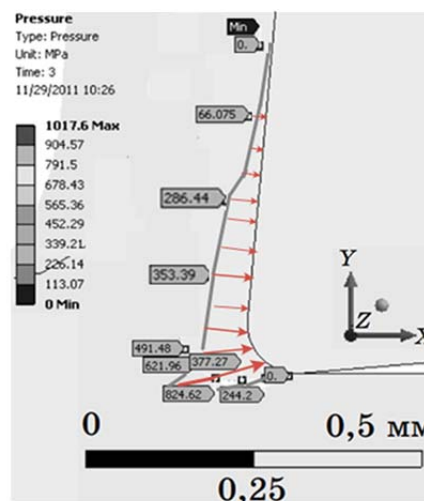


Рис. 5. Распределение нормальных напряжений на передней поверхности [8] (обработка авторов)

На картине распределения эквивалентных пластических деформаций отчётливо видна область деформаций, совпадающая с условной плоскостью сдвига, но их величина  $\varepsilon_e = 0,28865$  мм/мм существенно отличается от наибольшей относительной деформации  $\varepsilon_{e \max} = 0,37112$  мм/мм, наблюдаемой в зоне резания.

Распределение нормальных напряжений на передней поверхности имеет сложный характер с наибольшей величиной у режущей кромки (см. рис. 5).

Пластическая деформация происходит только в зоне стружкообразования и на поверхности контакта с резцом, отчётливо видна область сдвига, совпадающая с условной плоскостью сдвига.

Результаты расчётов НДС показали возможность определить НДС заготовки и резца с использованием программного обеспечения ANSYS.

### **Выводы**

1. Рассмотрена и описана физическая модель упругопластической деформации в зоне стружкообразования. Определены погрешности и ограничения, накладываемые геометрией режущего клина, свойствами и поведением материала при больших деформациях.

2. Описаны исследования по изучению процессов, возникающих при стружкообразовании на микроскоростях. Определены геометрические особенности зон деформации и сдвига, представлены методы оценки величины деформационных явлений.

3. Приведены данные о подходах, используемых для математического моделирования стружкообразования за счёт метода конечных элементов. На основании литературных данных рассмотрены закономерности поведения режущей кромки и обрабатываемого материала при резании. Описаны зоны распределения напряжений, возникающие при моделировании процесса резания.

Исследование финансировалось Российским научным фондом, проект № 23-79-10166.

### **Список литературы**

1. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.

3. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.

4. Армарего И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарего, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

5. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. Москва: Машиностроение, 2009. – 640 с.

6. Козлов В.Н., Дин Ц., Ли В. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали // 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.]. –Томск: Томский политехнический университет, 2022. – С. 98–100;

7. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.

8. Маслеников И.А., Соколов Ю.А., Копаев В.Н. Исследование напряжённого состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYSWorkbench / Обработка материалов резанием, Санкт-Петербург: Политехника, 2012, № 5–6 (71–72). – С. 18–23.



## ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ПО ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Дин Ц.<sup>2</sup>, Чжан Х.<sup>3</sup>, Ли В.<sup>4</sup>, Ван Ш.<sup>5</sup>, Пань Ц.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

E-mail: czechul@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

E-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ31,

E-mail: 1595534951@qq.com;

<sup>5</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 154А01,

E-mail: vs08@tpu.ru;

<sup>6</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 154А02,

E-mail: pc01@tpu.ru

При резании на режущий инструмент действуют силы, которые необходимо знать для расчёта мощности станка, усилия закрепления заготовки в приспособлении, расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего инструмента. В справочниках имеются формулы для расчёта технологических составляющих  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  силы резания (рис. 1). Однако там нет формул для расчёта сил при износе режущего инструмента, а это важно знать, особенно при черновой обработке, когда допускается существенный износ по задней поверхности с длиной фаски  $h_3$  до 0,5–1,2 мм (рис. 2), что приводит к увеличению силы резания вплоть до скола режущей части [1, 2].

Исследование изменения общих технологических составляющих  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания от величины подачи  $s$  и длины искусственной фаски износа  $h_{3п}$  позволило выявить уменьшение удельных сил резания при увеличении подачи (см. рис. 4). Искусственная фаска затачивалась по задней поверхности с задним углом  $\alpha_{\phi} = \alpha_h = 0^\circ$  (рис. 2) для того, чтобы её угол соответствовал реальному износу, но был при этом постоянен.

Результирующая  $P_{xy}$  технологических составляющих сил  $P_y$  и  $P_x$ , действующих в основной плоскости (в плоскости направления радиальной  $s_y$  и осевой  $s_x$  подач), рассчитывается по формуле  $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ , или  $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{0,5}$ . При этом принимаем, что технологическая результирующая  $P_{xy}$  действует также и в главной секущей плоскости (т. е. по линии пересечения основной и главной секущей плоскостей), поэтому её можно использовать для расчёта физических составляющих, действующих на передней поверхности:  $F_{\Pi}$  (касательная сила на передней поверхности) и  $N_{\Pi}$  (нормальная сила на передней поверхности). Для их расчёта при  $\gamma > 0^\circ$  используются уравнения (1) и (2) (рис. 3).

$$N_{\Pi} = N_{Pz\Pi} - N_{Py\Pi} = P_{z\Pi} \times \cos \gamma - P_{y\Pi} \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F_{\Pi} = F_{Py\Pi} + F_{Pz\Pi} = P_{y\Pi} \times \cos \gamma + P_{z\Pi} \times \sin \gamma. \quad (2)$$

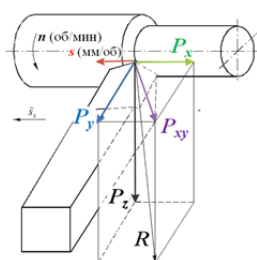


Рис. 1. Направление технологических составляющих  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_{xy}$  силы резания

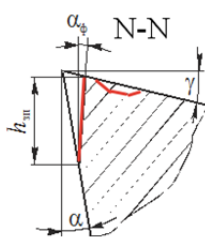


Рис. 2. Износ по главной задней поверхности резца в главной секущей плоскости N–N

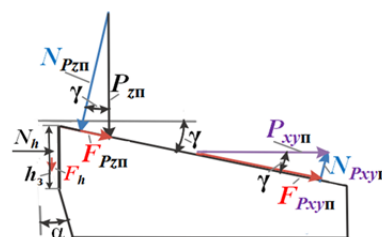


Рис. 3. Схема действия сил на передней поверхности и на фаске задней поверхности длиной  $h_3$

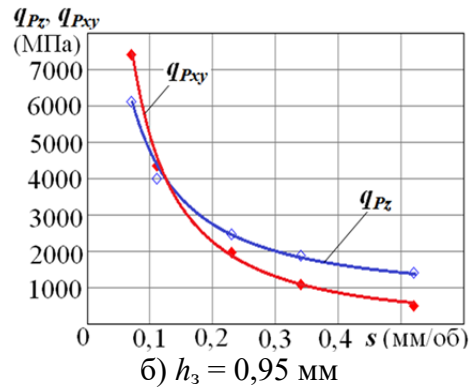
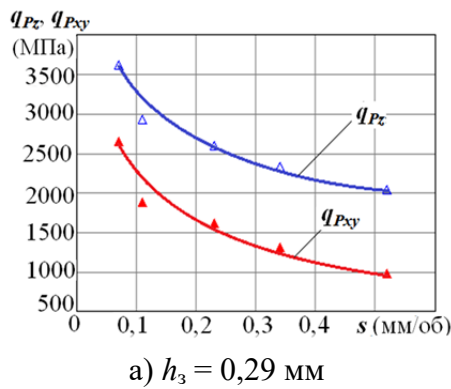


Рис. 4. Влияние подачи  $s$  (мм/об) на удельные силы резания  $q_{Pz}$  и  $q_{Pxy}$  (МПа) при обработке стали 40X с разной длиной искусственной фаски износа на задней поверхности  $h_3$ . Сталь 40X – T15K6;  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $r = 0,05$  мм,  $\gamma = 7^\circ$ , радиус округления режущей кромки  $\rho \approx 5$  мкм

При износе по задней поверхности силы резания увеличиваются за счёт увеличения длины фаски на задней поверхности, поэтому силы на передней поверхности можно выделить методом экстраполяции на нулевую фаску износа при разной величине подачи (см. рис. 5). Использование удельных сил резания  $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$  и  $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$  удобно потому, что можно рассчитать силы резания при любой величине глубине резания  $t$  (мм), т. к. удельные силы при этом не изменяются [1, 2].

Наши эксперименты показали, что с увеличением подачи удельные силы резания  $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$  и  $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$  существенно уменьшаются и при обработке стали 45 и при обработке стали 40X (рис. 3), что связано с уменьшением доли сил на задней поверхности резца и на вспомогательной режущей кромке.

При малой подаче ( $s = 0,11$  мм/об) удельные силы резания больше, чем при большой подаче ( $s = 0,52$  мм/об) (рис. 5), что связано подмятием (вдавливанием) слоя обрабатываемого металла под округлённую режущую кромку в зоне стружкообразования и увеличением сил со стороны задней поверхности при малой толщине срезаемого слоя  $a = s \cdot \sin \varphi < 0,15$  мм, т. е. стружка не так легко идёт на переднюю поверхность даже при установившемся резании. Косвенным доказательством этого служит бóльшая величина  $q_{Pxy}$  по сравнению с  $q_{Pxy}$  при малой подаче ( $s = 0,11$  мм/об) (рис. 5,  $h_3 < 0,7$  мм), в то время как при большой подаче ( $s = 0,52$  мм/об) всё наоборот. Интенсивное увеличение  $q_{Pxy}$  при малой подаче связано с упругим восстановлением поверхности среза: чем меньше подача (толщина среза), тем меньше длина волны упругого восстановления.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### 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.

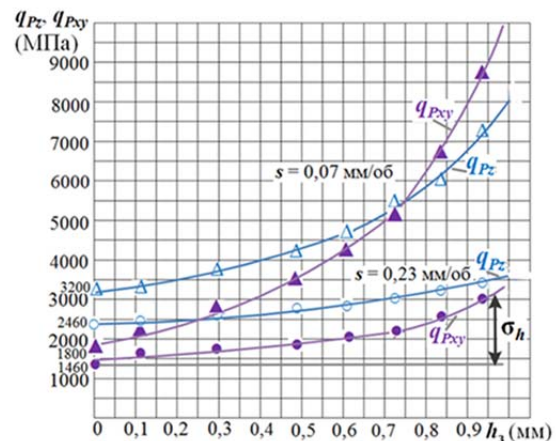


Рис. 5. Влияние длины фаски износа по задней поверхности  $h_3$  (мм) и подачи  $s$  (мм/об) на удельные силы резания. Сталь 40X – T15K6;  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $r = 0,05$  мм,  $\gamma = 7^\circ$



# ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Дин Ц.<sup>2</sup>, Чжан Х.<sup>3</sup>, Ли В.<sup>4</sup>, Ди Ч.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: czechul@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ31,

E-mail: 1595534951@qq.com;

<sup>5</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ31,

E-mail: dc01@tpu.ru;

Для расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего инструмента необходимо знать не только составляющие силы резания, но и распределение контактных нагрузок (напряжений) на его передней и задней поверхностях. При работе неизношенным инструментом принято считать, что силы действуют только на передней поверхности, а на главной и вспомогательной задних поверхностях они незначительны.

Для расчёта технологических составляющих силы резания можно использовать известную формулу [1, 2]

$$P_{z,y,x} = 10 \times C_P \times t^{xp} \times s^{yp} \times v^{np} \times K_P, \text{ [Н]} \quad (1)$$

где  $C_P$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и режущего материала;  $K_P$  – произведение ряда коэффициентов, учитывающих влияние прочности обрабатываемого материала на силу резания, главного угла в плане  $\phi$ , главного переднего угла в главной секущей плоскости  $\gamma$  на силу резания, угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  на силу резания, влияние радиуса при вершине резца  $r$  на силу резания.

Для уточнения данных таблиц в справочнике [1] нами были измерены технологические составляющие  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания (рис. 1) с использованием токарного трёхкомпонентного динамометра Kistler модели 9257В. Так как целью экспериментов было измерение сил при разных передних углах, то применялся токарный резец с напайной твёрдосплавной пластиной Т15К6 без покрытия с плоской передней поверхностью без стружкозавивающей канавки или порошка.

Главный угол в плане  $\phi = 45^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\phi_1 = 45^\circ$ , радиус при вершине использовался очень небольшой  $r = 0,1$  мм для учёта сил только на главной режущей кромке (рис. 2). Использовались резцы с передними углами  $\gamma = 7^\circ$  и  $15^\circ$ , главным задним углом  $\alpha = 10^\circ$ , углом наклона главной режущей кромки  $\lambda = 0^\circ$ .

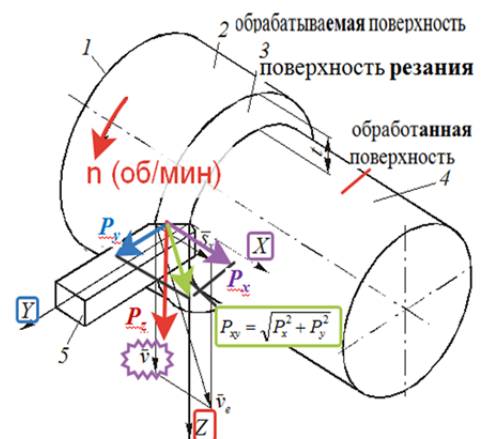


Рис. 1. Направление технологических составляющих  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания

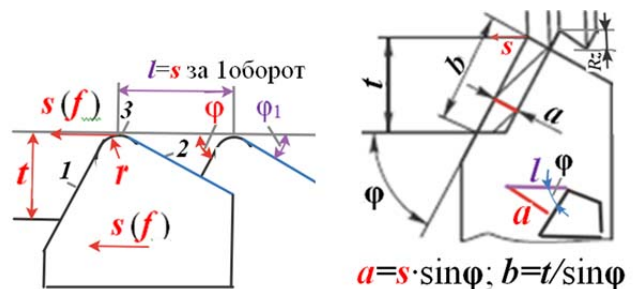


Рис. 2. Элементы режима резания и геометрия резца в плане (вид сверху).

1 – главная режущая кромка, 2 – вспомогательная режущая кромка, 3 – вершина резца, a – толщина среза, b – ширина среза

В качестве обрабатываемого материала применялась сталь 45, которая служит как эталонный материал при определении обрабатываемости и расчёта сил резания. В ходе экспериментов были измерены технологические составляющие  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания, рассчитана результирующая сила  $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ , действующая в основной плоскости и в главной секущей плоскости. То есть принималось, что результирующая  $P_{xy}$  направлена перпендикулярно к проекции главной режущей кромки на основную плоскость, что достаточно верно, при незначительности сил со стороны вспомогательной режущей кромки и вершины резца.

После этого рассчитывалась нормальная  $N$  и касательная  $F$  силы на передней поверхности, которые необходимы для построения эпюр контактных напряжений на передней поверхности (рис. 3), т. е. для определения внешней нагрузки при расчёте НДС режущего инструмента [3]. Для их расчёта использовалась схема действия сил  $P_z$  и  $P_{xy}$  в главной секущей плоскости (рис. 4).

Расчёт физических составляющих силы резания  $N$  и  $F$  по технологическим составляющим  $P_z$  и  $P_y$  при переднем угле  $\gamma \neq 0^\circ$  выполняется по уравнениям, которые получаем из суммы векторов (рис. 4):

$$\vec{P}_{zn} = \vec{N}_{pzn} + \vec{F}_{pzn}; \quad \vec{P}_{xyn} = \vec{F}_{pxyn} + \vec{N}_{pxyn}. \quad (2)$$

Из этих формул при  $\gamma > 0^\circ$  получаем два уравнения (3) и (4) для расчёта физических сил резания:

$$N_{zn} = N_{pzn} - N_{pxyn} = P_{zn} \times \cos \gamma - P_{xyn} \times \sin \gamma; \quad (3)$$

$$F_{zn} = F_{pxyn} + F_{pzn} = P_{xyn} \times \cos \gamma + P_{zn} \times \sin \gamma. \quad (4)$$

Точение выполнялось с продольной подачей  $s$  (мм/об) разной величины от 0,07 до 0,52 мм/об при постоянной глубине резания  $t = 2$  мм и скорости резания  $v = 146$  м/мин для предотвращения появления нароста. После расчёта физических составляющих, действующих на передней поверхности, рассчитывался средний условный коэффициент трения  $\mu_{cp} = F / N$  (см. графы 7 и 13 табл. 1).

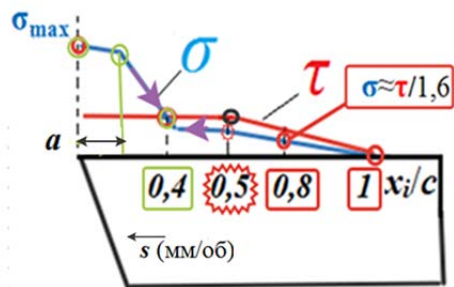


Рис. 3. Построение эпюр нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности

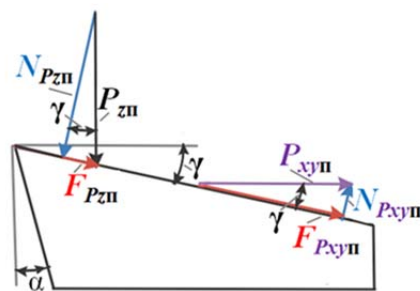


Рис. 4. Схема действия сил на передней поверхности

Таблица 1

Влияние переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) и подачи  $s$  (мм/об) на составляющие силы резания при постоянной условной глубине резания  $t=2$  мм. Сталь 45 – T15K6,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $r = 0,1$  мм

Подача $s$ , мм/об	Толщина среза $a$ , мм	Технологические силы резания при $\gamma = +7^\circ$ , Н		Физические составляющие силы резания при $\gamma = +7^\circ$			Технологические силы резания при $\gamma = +15^\circ$ , Н			Физические составляющие силы резания при $\gamma = +15^\circ$		
		$P_{xy}$	$P_z$	$F^\circ$ , Н	$N^\circ$ , Н	$\mu_{cp}$	$P_{xy}$	$P_z$	$\mu_{cp}$	$F$ , Н	$N^\circ$ , Н	$\mu_{cp}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,07	0,05	286	443	338	405	0,83	223	433	0,516	327	360	0,909
0,11	0,08	396	619	469	566	0,83	309	577	0,536	448	477	0,939
0,23	0,16	742	1216	885	1117	0,79	635	1087	0,584	894	886	1,010
0,34	0,24	961	1735	1165	1606	0,73	864	1592	0,543	1247	1314	0,949
0,52	0,37	1144	2370	1425	2214	0,64	1078	2222	0,485	1616	1867	0,866

Из табл. 1 видно, что с увеличением переднего угла от 7 до 15 градусов нормальная сила  $N$  уменьшается, а величина среднего условного коэффициента трения  $\mu_{\text{ср}}$  увеличивается, несмотря на уменьшение силы трения  $F$  при толщине среза  $a = 0,05-0,08$  мм при одинаковых режимах резания. Это связано с отрицательным знаком второго составляющего в уравнении (3).

Увеличение силы трения при увеличении  $\gamma$  от 7 до 15 градусов при большей толщине среза  $a = 0,23-0,52$  мм и увеличение разницы с увеличением толщине среза связано, на наш взгляд, с наличием каких-то особых условий контакта на передней поверхности, т. к. при  $\gamma = +25^\circ$  и  $+35^\circ$  происходит уменьшение силы трения  $F$  при всех толщинах среза при сравнении с силами при  $\gamma = +15^\circ$ .

Уменьшение среднего условного коэффициента трения  $\mu_{\text{ср}}$  при увеличении толщины среза при одинаковом переднем угле объясняется нами увеличением температуры при-контактного слоя стружки, что приводит к уменьшению предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала (стружки) в зоне вторичных пластических деформаций.

Наши эксперименты показали, что с увеличением подачи удельные силы резания  $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$  и  $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$  существенно уменьшаются и при обработке стали 45 и при обработке стали 40X (рис. 5), что связано с уменьшением доли сил на задней поверхности резца и на вспомогательной режущей кромке.

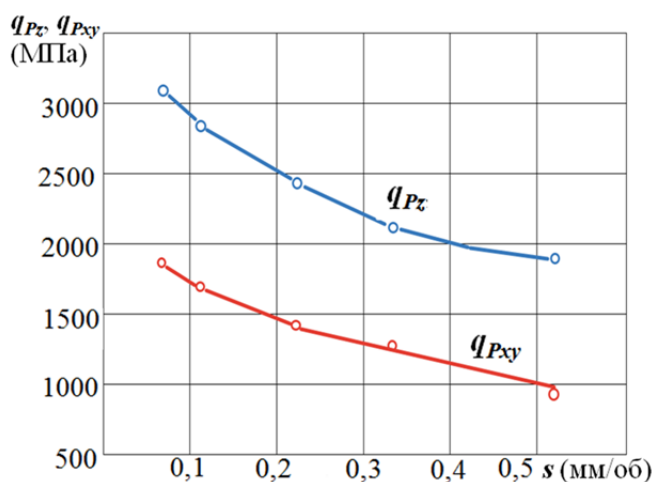


Рис. 5. Влияние подачи  $s$  (мм/об) на удельные силы резания  $q_{Pz}$  и  $q_{Pxy}$  (МПа) при обработке стали 40X.  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин, округление режущей кромки  $\rho \approx 5$  мкм.

Это происходит также и потому, что при увеличении подачи увеличивается температура в зоне первичных пластических деформаций, что приводит к уменьшению прочности материала, подвергаемому деформации в этой зоне при образовании стружки.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т. 2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 2012. 496 с., ил.
2. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126717> (дата обращения: 14.04.2019). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
3. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В.Н. Козлов; науч. рук. В.Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22–24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 243–250.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 40X

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Дин Ц.<sup>2</sup>, Чжан Х.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,  
E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;  
<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,  
E-mail: czechul@tpu.ru;  
<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,  
E-mail: 1764602262@qq.com;

Математическое описание напряженно-деформированного состояния металла в зоне стружкообразования в настоящее время основывается на большом объеме экспериментальных данных, полученных различными методами. Используются экспериментальные данные о длине упругого и пластического контакта стружки с передней поверхностью инструмента, характер распределения контактных напряжений на передней и задней поверхностях инструмента, а также значение и направление силы резания [1–8].

В статье представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) в зоне стружкообразования при моделировании методом конечных элементов (МКЭ) процесса строгания стальной полосы и проблемы, возникающие при моделировании. В данном исследовании выбрана явная динамическая модель, материал образца – сталь 40X, материал строгального резца – твёрдый сплав Т15К6, геометрические параметры инструмента: передний угол  $\gamma = 40^\circ$  и  $7^\circ$ , задний угол  $\alpha = 10^\circ$ . Скорость резания  $v = 180$  м/мин, глубина резания  $t = 0,5$  мм, ширина резания  $b = 5$  мм.

Сравнение распределение напряжений в зоне стружкообразования при врезании строгального резца в заготовку и при работе в установившемся режиме представлено на рис. 1.

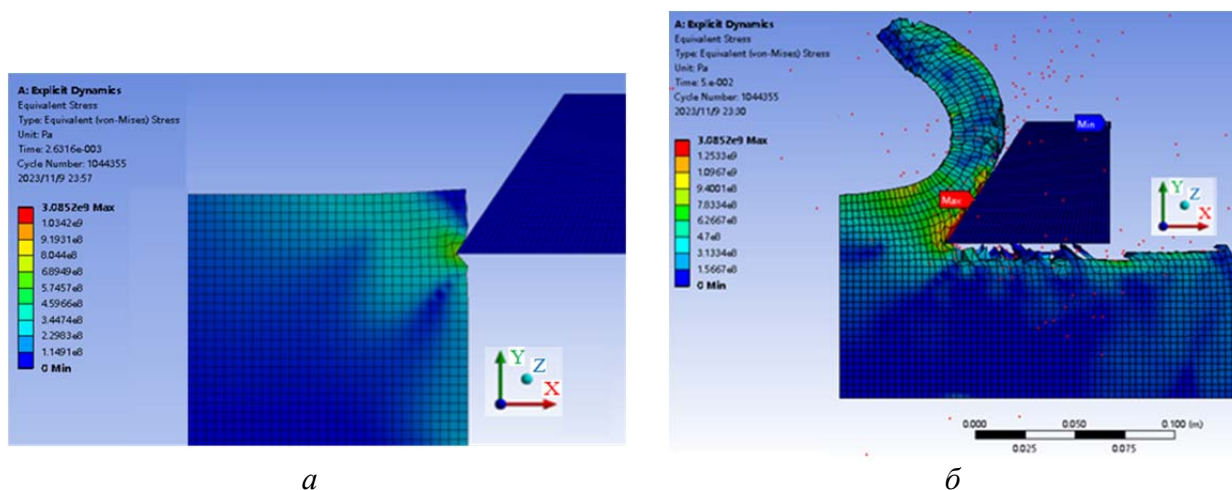


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (Па) при врезании (а) и при установившемся резании (б). Сталь 40X – Т15К6,  $v = 180$  м/мин,  $\gamma = 40^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ .

На этапе врезания зона наибольших эквивалентных напряжений в заготовке располагается в месте контакта с режущей кромкой инструмента, т. е. непосредственно у режущей кромки, а его наибольшая величина  $\sigma_{e \max}$  составляет 804 МПа (рис. 1, а), что явно не много для начала резания. При стабильном процессе резания максимальная величина эквивалентного напряжений в зоне стружкообразования переносится от режущей кромки к зоне вторичной пластической деформации, а ее величина составляет 3085 МПа (рис. 1, б). В области условной плоскости сдвига наибольшая величина эквивалентных напряжений изменяется от 1096 МПа (у режущей кромки и на поверхности заготовки) до 783 МПа в её средней части.



Основываясь на приведенных выше результатах, можно сделать вывод, что когда передний угол  $\gamma$  инструмента составляет  $40^\circ$ , то при установившемся резании максимальное эквивалентное напряжение от заготовки передается к режущей кромке инструмента, поэтому инструмент не только изнашивается, но и может происходить скол его режущей кромки. Как показывают расчёты НДС режущего клина, в это время на его передней поверхности действуют более опасные растягивающие напряжения, что может привести к сколу. Поэтому при обработке стали 40X следует выбирать инструмент с меньшим передним углом.

Положение зоны с максимальной эквивалентной деформацией  $\epsilon_{\max}$  (мм) связано с зоной максимальных эквивалентных напряжений. Максимальная величина эквивалентных относительных деформаций в заготовке  $\epsilon_{\max}$  при врезании располагается около режущей кромки и составляет 0,0053248 м/м (рис. 2, а). При этом наблюдается область с деформацией 0,00228, которая совпадает с зоной условной плоскости сдвига, что является косвенным подтверждением правильности отображения процессов, происходящих при моделировании.

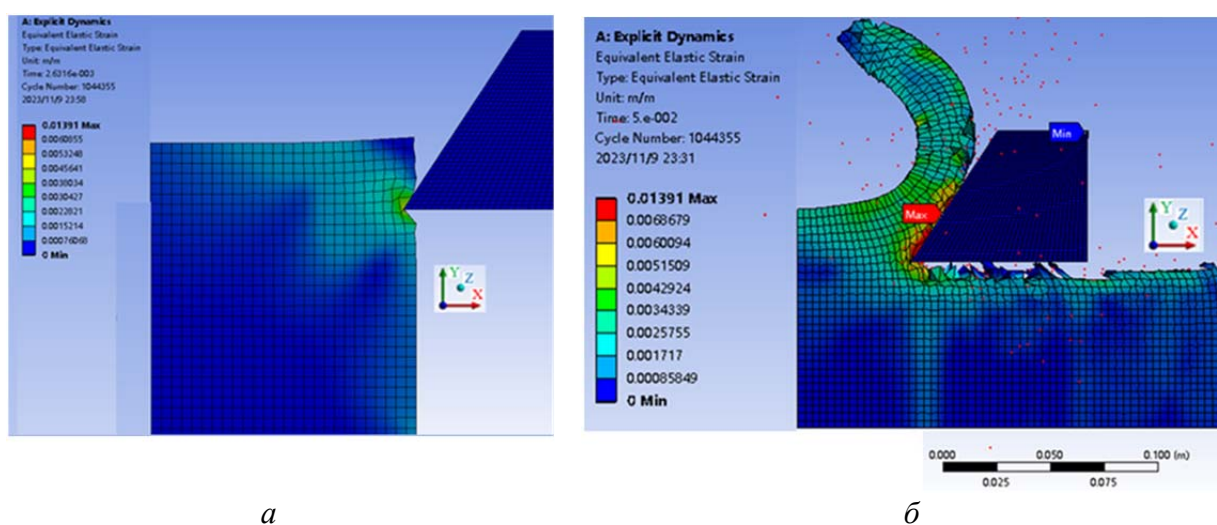


Рис. 2. Распределение эквивалентной относительной деформации  $\epsilon$  (м/м) в заготовке при врезании строгального резца через 0,0026 с (а) и при установившемся резании через 0,05 с (б).

Сталь 40X – T15K6,  $v = 180$  м/мин,  $\gamma = 40^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$

При установившемся режиме резания зона с наибольшей величиной относительных деформации  $\epsilon_{\max} = 0,01391$  находится как в приконтактном слое стружки в зоне вторичной пластической деформации, так и в зоне условного скольжения стружки по передней поверхности (рис. 2, б). Зона контакта стружки с передней поверхностью на отдалении от режущей кромки более  $0,5 \cdot c$  (где  $c$  – длина контакта стружки с передней поверхностью) называется зоной условного скольжения, т. к. там нет чистого трения скольжения (внешнего трения), подчиняющегося закону Амонтона-Кулона, при котором сила трения рассчитывается по формуле  $F = f \cdot N$ , где  $f$  – коэффициент трения, являющийся постоянной величиной для пары контактирующих тел,  $N$  – нормальная сила (сила давления), действующая на движущееся тело.

В рассматриваемой зоне на некоторых участках происходит адгезия стружки с передней поверхностью инструмента, т. е. так называемые «мостики» схватывания [1, 2]. Затем в этих местах происходит срез по поверхности «мостиков», поэтому условный коэффициент трения гораздо больше обычного коэффициента трения скольжения  $f_{\text{ст-ст}} \approx 0,15$  для пары сталь по стали, а для пары сталь по твёрдому сплаву BK8  $f_{\text{ст-BK8}} \approx 0,4-0,6$  [2]. В этой зоне при резании условный коэффициент трения увеличивается при отдалении от режущей кромки и изменяется в очень широких пределах:  $\mu_i = \tau_i / \sigma_i \approx 1 \dots 1,9$  [1, 2, 3, 4, 6], где  $\tau_i$  – касательное контактное напряжение (МПа) в  $i$ -й точке,  $\sigma_i$  – нормальное контактное

напряжение (МПа) в  $i$ -й точке. В связи с вышесказанным необходимо учитывать, что в рассматриваемой зоне происходит пластическая деформация, или так называемое внутреннее трение в «мостиках» приконтактного слоя стружки, что и наблюдается на рис. 2, б.

Зона условной плоскости сдвига на рис. 2, б выделяется, но величина относительной деформации  $\epsilon_{\text{пл. сдв}} = 0,0025755$  там не очень большая, как это должно быть при правильном моделировании. В этой зоне деформация должны приближаться к максимальной, т. е. порядка  $\epsilon_{\text{max}} = 0,01391$ , как и в области вторичных пластических деформаций, но немного меньше.

Имеется также зона с деформациями  $\epsilon \approx 0,0025755$ , которая располагается в области режущей кромки и уходит перпендикулярно плоскости резания на всю толщину заготовки, чего быть не должно. Зоны с такой же величиной деформации находятся на обработанной поверхности, что вполне адекватно отображает процессы, происходящие при строгании.

Выполнено сравнение распределения эквивалентных напряжений в зоне стружкообразования при врезании инструмента с передним углом  $40^\circ$  и  $7^\circ$  (рис. 3).

Максимальное эквивалентное напряжение в заготовке в момент врезания резца с передним углом  $\gamma = 7^\circ$  составляет 23 262 МПа, а максимальная эквивалентная относительная деформация 0,16284 (рис. 4, а). Эти данные явно выходят за пределы тех значений, которые может иметь обрабатываемый материал сталь 40Х. Поэтому принимаем, что это ошибка расчёта при моделировании процесса резания. Максимальное эквивалентное напряжение в заготовке перед режущим клином с передним углом  $\gamma = 40^\circ$  в момент контакта с заготовкой составляет 804 МПа, а максимальная эквивалентная относительная деформация  $\epsilon_{\text{max}} = 0,0053248$ .

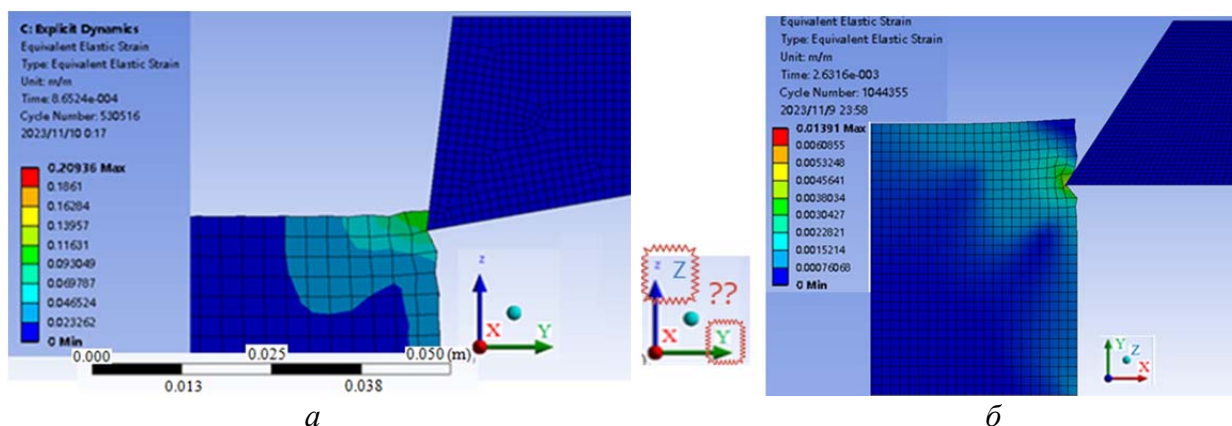


Рис. 4. Распределение эквивалентной деформации  $\epsilon$  (м) при врезании в заготовку из стали 40Х инструментом с передним углом  $\gamma = 7^\circ$  (а) и  $\gamma = 40^\circ$  (б)

Сравнивая распределение эквивалентных напряжений этих двух инструментов в момент врезания, видим, что эквивалентное напряжение в заготовке перед резцом с передним углом  $\gamma = 40^\circ$  образует зонтичное распределение перед острием инструмента, а распределение существенных напряжений в заготовке перед режущей кромкой инструмента совпадает с положением условной плоскости сдвига. Эквивалентное напряжение в зоне резания инструментом с передним углом  $7^\circ$  в момент врезания равномерно распределяется перед передней поверхностью резца, что позволяет инструменту сохранять целостность конструкции. На рис. 4, а показана очень крупная сетка конечных элементов, а попытки уменьшить их величину привели к появлению ошибки расчёта при моделировании.

Небольшая величина эквивалентной относительной деформации отображается и в других частях заготовки по направлению продвижения строгального резца, причем эта деформация распространяется на верхнюю поверхность заготовки. Стоит отметить, что в положении, когда верхняя поверхность заготовки находится на высоте 2,5 мм от вершины

инструмента (от режущей кромки), здесь происходит концентрация эквивалентных напряжений и деформаций. Во время последующего продвижения резца можно видеть, что именно здесь происходит отход будущей стружки от прямолинейной верхней (необработанной) поверхности заготовки, т. е. происходит искривление (изгиб), сопровождающий образование стружки.

**Проблемы, возникающие при экспериментальном моделировании.** В ходе эксперимента возникло множество пока неразрешённых проблем. Например, при проведении моделирования резания с использованием резца с меньшим передним углом резец не мог продвигаться с заданной скоростью. Резец перестаёт двигаться в тот момент, когда он коснулся заготовки, и программа ANSYS сообщает об ошибке, что номер временного шага был слишком мал или ошибка энергии была слишком велика. Попытки изменить соответствующие параметры в настройках всё равно не дали положительного результата, программа показывает ошибку (рис. 5).

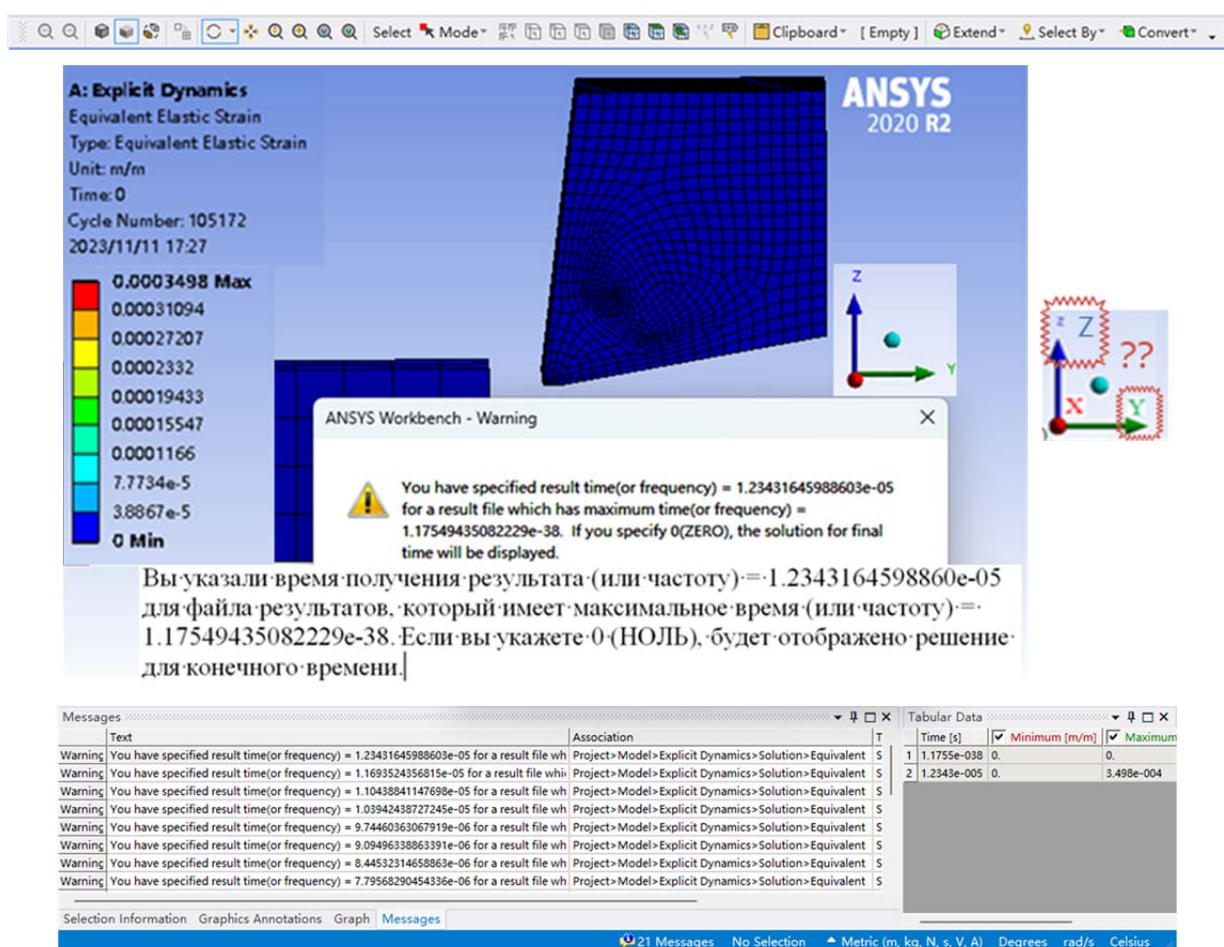


Рис. 5. Проблема, связанная с несовпадением времени получения результата с максимальным временем, возникшая во время моделирования процесса резания

Кроме того, после того, как резец смог нормально продвигаться, возникла ошибка, связанная с невозможностью нормального формирования стружки. В идеале стружка должна изгибаться вверх по мере продвижения резца, но результаты моделирования показывают, что стружка не скручивается нормально, а накапливается перед резцом, образуются небольшие её элементы, как при образовании стружки надлома, характерной для очень хрупких материалов (см. рис. 6), или превращается в бесчисленные маленькие красные точки и исчезает.



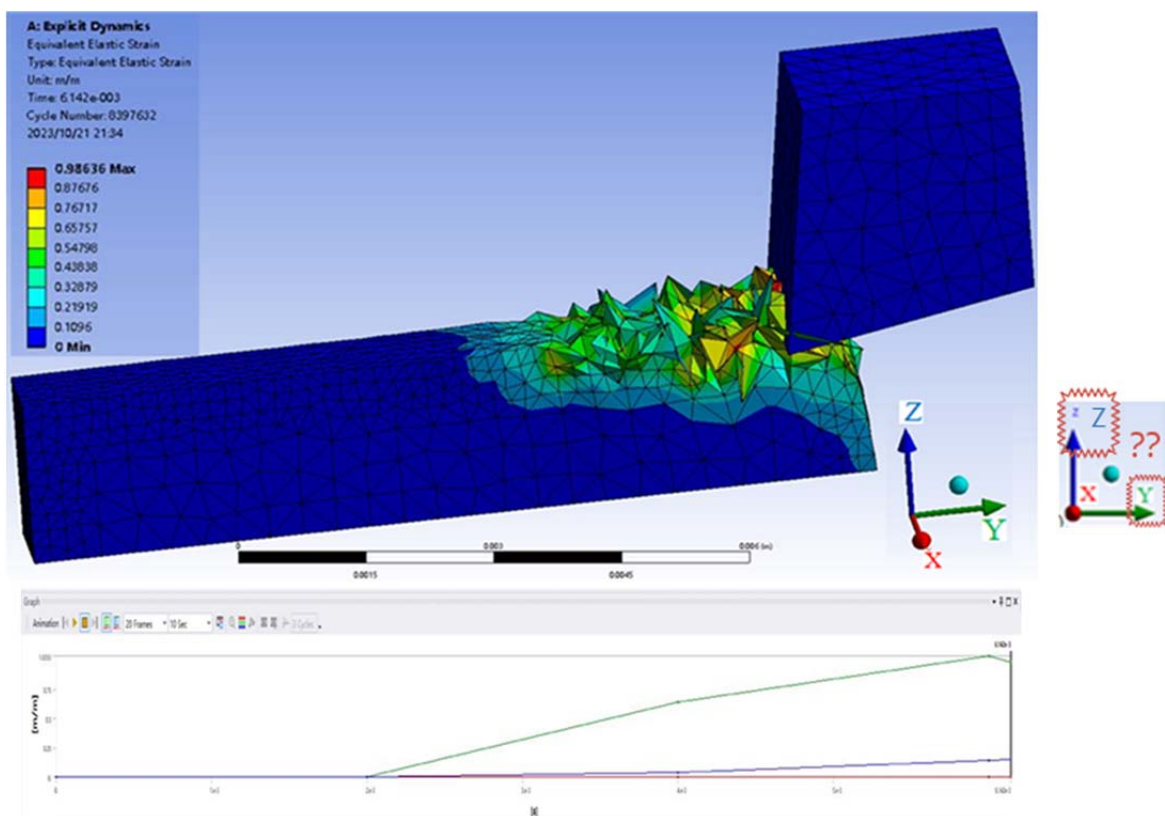


Рис. 6. Проблема с неправильным отображением образования стружки во время строгания

Помимо этого, столкнулись с проблемой, заключающейся в том, что резец не продвигался на заданное расстояние (на расстояние смещения). Окончательное решение этой проблемы состоит в том, чтобы отказаться от использования смещения для ограничения движения резца, а вместо этого использовать ограничения направленного равномерного движения. Однако это приводит к проблеме при расчете энергии (рис. 7).

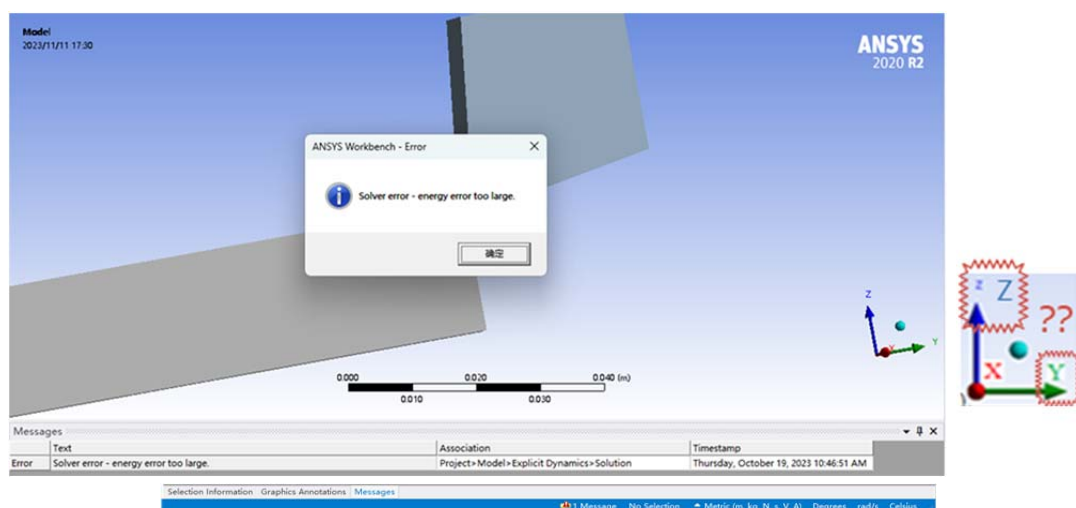


Рис. 7. Ошибка, связанная с энергетической ошибкой (энергия очень большая)

Проанализировав причины этих проблем, мы считаем, что основная причина заключается в том, что существуют проблемы с параметрами задания свойств материала заготовки и режущего инструмента. Вторая причина в том, что мы до сих пор недостаточно глубоко понимаем параметры в настройках и не можем их отрегулировать в соответствии с реальными возникшими проблемами.

В целом можно констатировать, что моделирование процесса строгания со скоростью резания  $v = 180$  м/мин и с глубиной резания  $t = 0,5$  мм в среде ANSYS возможно, но требуется основательное изучение работы программы и особенностей задания исходных данных.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.
4. Армарево И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарево, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
5. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. Москва: Машиностроение, 2009. – 640 с.
6. Козлов В.Н., Дин Ц., Ли В. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали // 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.]. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – [С. 98–100];
7. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.
8. Маслеников И.А., Соколов Ю.А., Копаев В.Н. Исследование напряжённого состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYS Workbench / Обработка материалов резанием, Санкт-Петербург: Политехника, 2012, № 5–6 (71–72). – С. 18–23.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ВКНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СВЯЗУЮЩЕГО СЛОЯ АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

*Гиорбелидзе М.Г.<sup>1</sup>, Халитов Б.Л.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ст. преподаватель кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, н.с. НИЧ-90,*

*E-mail: m.giorbelidze@ssau.ru;*

*<sup>2</sup>студент группы 1310-270302,*

*Самарский национальный исследовательский университет*

*имени академика С.П. Королёв, г. Самара*

*E-mail: b.khalitov@vk.com*

Элементы гидросистемы авиационной техники являются ответственными изделиями, определяющими ресурс и работоспособность целого ряда агрегатов и систем [1]. Одним из таких элементов является гидравлический цилиндр, представляющий собой емкость с рабочей жидкостью, внутри которой находится поршень со штоком, изготовленный из титанового сплава ВТ22. Наружная цилиндрическая поверхность такого поршня испытывает активное трение с гильзой. Кроме того, при выделении тепла и нагреве за счет трения титановый сплав интенсивно поглощает азот и кислород. В связи с большой растворимостью этих элементов на поверхности металла образуется альфирванный слой. Возникновение данного слоя приводит к снижению пластичности. Экспериментально установлено, что более чем на половине всех изделий с альфирванным слоем возникают трещины [2]. Решение данного вопроса возможно либо за счет регламентированной дорогостоящей замены детали на новую, либо за счет нанесения защитного покрытия специального состава [3–17].

Проведен анализ методов нанесения и антифрикционных материалов применительно к рассматриваемому штоку с поршнем. Благодаря значительному количеству достоинств был выбран плазменный метод нанесения покрытия системы ВКНА + БРА7. Данное покрытие состоит из двух металлических слоев. Никель-алюминиевый слой из материала ВКНА выполняет промежуточную роль в согласовании физико-механических свойств титанового сплава и антифрикционного бронзового сплава на основе БРА7. При нанесении такой системы покрытий плазменным методом могут возникать некоторые технологические проблемы с выбором оптимального режима нанесения материала ВКНА, так как это соединение обладает высокой температурой плавления порядка 1385 °С [18] и может состоять из порошковых частиц с широким диапазоном размеров от 20 до 120 мкм.

В работе проведен входной гранулометрический анализ порошкового материала ВКНА и проведены мероприятия по его разделению на фракции с меньшим разбросом по размерам. В дальнейшем решалась задача по поиску оптимальных технологических режимов [5, 10, 11, 13, 15, 16], при которых условия нагрева частиц в газотермической плазме обеспечат их полное проплавление на всю глубину без активного испарения материала с поверхности частицы. Для решения данной задачи использовалось численное конечно-элементное моделирование нагрева и плавления частиц ВКНА в плазменной струе с учетом свойств материала и параметров плазменной струи [10, 15, 17]. Решалась нелинейная задача теплопроводности с учетом фазового перехода – плавления материала. Проведено математическое моделирование нагрева и плавления полученных фракций порошкового материала ВКНА, установлены поля распределения температур в материале частиц. На основе результатов моделирования разработаны режимы, обеспечивающие проплавление всех размеров частиц порошка ВКНА, что позволит получить более качественное покрытие с высокой прочностью сцепления, малой пористостью и существенно меньшей разнотолщинностью, что важно для защиты конструкционного материала штока.

#### **Список использованных источников:**

1. Барвинок В.А., Богданович В.И., Дементьев С.Г. и др. Современные технологии в авиа- и ракетостроении: учебник для студентов высших учебных заведений. Под ред. Чл.-корр. РАН В.А. Барвинка – М.: Машиностроение, 2014. – 402 с.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.
3. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. М.: Наука и технологии, 2005. 456 с.
4. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. М.: Альфа-М, 2014. 925 с.
5. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of heating features of a cylindrical surface under plasma deposition // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 174. – Article number 012075.
6. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Ion-plasma treated parts quality improvement analysis based on the reliability theory criteria // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1118. – Article number 012004.
7. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Ion-plasma coatings performance properties improvement obtained by arc deposition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1118. – Article number 012005.
8. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Main problems of mathematical modeling high energies plasma technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 795. – Article number 012004.
9. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Metallographic Study of Mesostructure-Ordered Plasma Ceramic Coatings // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 743. – P. 118-123.
10. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of surface heating during plasma spraying // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177. – Article number 012057.
11. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Development of mathematical model of disperse particle motion in the plasma flow in the field of boundary layer during plasma spraying // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol.1096(1). – Article number 012190.
12. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Calculation of residual stresses in plasma spray coatings taking into account the build-up process // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1368(4). – Article number 042079.
13. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of particle impact on a fixed surface in the formation of powder coatings // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1368(4). – Article number 042078.
14. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Determination of residual stresses in multi-layer plasma coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol.511. – Article number 12005.
15. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical Model of Powder Material Particles Heating in Thermal Spraying // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol.769. – P. 336–345.
16. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of powder material motion and transportation in high-temperature flow core during plasma coatings application // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – Article number 022036.
17. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Analysis of the ceramic layer microstructure influence on plasma spray thermal barrier coating performance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 286. – Article number 012008.
18. Авиационные материалы. Том 3. Литейные жаропрочные сплавы и защитные покрытия / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2002. – 284 с.

## ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Давлатов Г.Д.<sup>1</sup>, Сапрыкин А.А.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Давлатов Г.Д. (аспирант гр. А1-20, НИ ТПУ, ИШНПТ),

<sup>1</sup>E-mail: gdd1@tpu.ru;

<sup>2</sup>Сапрыкин А.А. (к.т.н., доцент ЮТИ ТПУ),

<sup>2</sup>E-mail: sapraa@tpu.ru

### Введение

Технологии, связанные с аддитивным производством изделий из металлов, экспоненциально улучшают свои возможности с каждым днем, что означает развитие более точного и снижающего ошибки производства конструктивно-сложных изделий. С помощью технологии Laser Beam Powder Bed Fusion (LB-PBF) можно изготавливать изделия со сложными внутренними каналами и тем самым расширить области их применения. Например, фигурные каналы могут использоваться для повышения эффективности охлаждения [1].

Высокая скорость съема материала при электрополировке (ЭП) делает его более эффективным, а также и делает большой шаг в области гибридной полировки внутренних структур LB-PBF [2, 3]. Чжао и др. [2], объединили ЭП и механическое царапание в качестве инновационного гибридного метода полировки для удаления, частично расплавленного порошка во внутренних отверстиях LB-PBF. В разработанной ими установке, [2], которая состоит из накопительной емкости, в которой перемешивается электролит и нагревается до определенной температуры нагревателем. Для выпуска электролита использовался насос с максимальной производительностью 20 л/мин. Затем была разработана и изготовлена пластиковая полировальная камера для закрепления в ней образца LB-PBF и катода.

Galina Kasperovich со своими коллегами [4] провели четыре исследования по оптимизации параметров LB-PBF с целью достижения низкой шероховатости поверхности для: вертикальной внутренней (90°), верхней (45°) и нижней (135°) поверхностей.

Все образцы были изготовлены с одинаковыми изначально выбранными параметрами LB-PBF ( $EL = 0,113$  Дж/мм,  $PCL = 180$  Вт,  $vCL = 1600$  мм/с), где:

$EL$  – постоянная линейная плотность энергии лазера

$PCL$  – мощность контурного лазера, то есть последовательность сканирования, при которой сначала лазером обрабатывается объемная часть, а затем сканируются векторы контуров

$vCL$  – скорость сканирования контура.

Также были выбраны две стратегии сканирования (заполнения слоя): шахматный и линейный.

Независимо от расположения поверхности, а также последовательности сканирования, линейный способ сканирования показывает несколько меньшую шероховатость поверхности по сравнению с шахматной. Это связано с тем, что между островками шахматного сканирования направление изменяется на 90 градусов, в то время как между слоями в исследуемых схемах применялся поворот на 45 градусов и боковой сдвиг.

Jacob Mingear и др. [5] подробно описывают процесс изготовления канальных образцов NiTi с помощью системы LB-PBF, представляющей собой коммерческий металлический принтер ProX 100 компании 3D Systems. Этот принтер оснащен непрерывным волоконным лазером с гауссовым профилем распределения мощности излучения с длиной волны 1070 нм, диаметром луча около 70 мкм и мощностью лазера 50 Вт.

Ориентация канала относительно направления построения рассматривалась как основной фактор, так как было установлено, что она оказывает большое влияние на шероховатость поверхности.

Вертикальные каналы создают новые слои поверх ранее затвердевшего слоя, а горизонтальные – потолки поверх слоя порошка. Показывающий результат проникновения расплава в пористый порошок при изготовлении нависающего элемента, приводит к увеличению шероховатости. Средние значения шероховатости для всех каналов слабо отрицательны, что свидетельствует о небольшом смещении в сторону поверхностных впадин. После электрополировки наблюдается уменьшение интенсивности, которое, как показано далее увеличивается обратно пропорционально параметрам, связанным с плотностью энергии лазера. Кроме того, очевидно, что электрополировка является эффективной процедурой постобработки для уменьшения шероховатости.

Про свою установку и процесс повышения качества поверхности внутренних отверстий, в своей публикации рассказывает Chenhao Zhao и др [6] В качестве катодного электрода использовалась металлическая витая пара, а к катоду было прикреплено большое количество нейлоновых нитей, выполняющих роль гибкого абразива.

На поверхности внутреннего канала происходит электрохимическая реакция, способствующая растворению материала. В это время катодный инструмент перемещается, увлекая за собой гибкий абразив для механического царапания внутренней поверхности. Диаметр катодного инструмента был больше диаметра внутреннего отверстия, и он совершал возвратно-поступательные движения, обеспечивая всестороннее механическое воздействие на внутреннюю поверхность.

Процесс показал, что увеличение длительности электрического разряда и времени полировки еще больше сглаживает внутреннюю поверхность при трех плотностях тока, а частично расплавленные порошки постепенно удаляются. В ходе этого процесса колебания поверхности уменьшались по высоте и, в конце концов, были удалены с образованием более однородной поверхности. Более того, этот процесс может быть применен и к криволинейному внутреннему отверстию.

Из изложенного выше следует, что существует несколько способов повышения качества поверхности отверстий после послойного сплавления металлического порошка лазером. Это традиционные методы механической и электрохимической полировки. Однако регулировать уровень микронеровностей поверхности можно за счет технологических параметров, таких как стратегия сканирования, мощность излучения и ориентация поверхности относительно направления построения.

### Список литературы

1. Han S, Salvatore F, Rech J, Bajolet J. Abrasive flow machining (AFM) finishing of conformal cooling channels created by selective laser melting (SLM). *Precis Eng* 2020; 64:20–33. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.006>.
2. Zhao C, Qu N, Tang X. Electrochemical mechanical polishing of internal holes created by selective laser melting. *J Manuf Process* 2021; 64:1544–62. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.03.003>.
3. Mohammadian N, Turenne S, Brailovski V. Surface finish control of additively manufactured inconel 625 components using combined chemical-abrasive flow polishing. *J Mater Process Technol* 2018; 252:728–38. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.10.020>.
4. The effect of build direction and geometric optimization in laser powder bed fusion of Inconel 718 structures with internal channels: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127521004111?via=ihub>.
5. Effect of process parameters and electropolishing on the surface roughness of interior channels in additively manufactured nickel-titanium shape memory alloy actuators: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860418307954>.
6. Electrochemical mechanical polishing of internal holes created by selective laser melting <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612521001699>.

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Ван Ш.<sup>2</sup>, Пань Ц.<sup>3</sup>, Прабово Х.<sup>4</sup>, Кумар Р.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154A01,

E-mail: vs08@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154A02,

E-mail: pc01@tpu.ru;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4AM21,

E-mail: harimurti@tpu.ru;

<sup>5</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4AM21,

E-mail: kumarroh@tpu.ru

Для обработка фасонных поверхностей в настоящее время вместо копировальных станков используются станки с ЧПУ, для которых обработка фасонных поверхностей на поверхности детали не представляет особых проблем (рис. 1, а).

Однако при малой протяжённости вогнутой фасонной поверхности, особенно менее 20 мм (рис. 1, б), приходится использовать фасонные резцы, т. к. в таком месте подрезной резец даже ромбической формы не может поместиться для продольной фасонной отточки с обеспечением положительных углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$  (рис. 1, б).

Фасонные резцы применяют для обработки тел вращения, имеющих наружные или внутренние фасонные поверхности, и работают при радиальной подаче. Обработка этими резцами обычно ведется на станках-автоматах и револьверных станках в условиях крупносерийного или массового типа производств. Для уменьшения силы резания, особенно радиальной составляющей  $P_y$ , используются положительные передние углы  $\gamma$  максимально большой величины, которая определяется прочностью режущего клина. Однако применение  $\gamma \neq 0^\circ$  приводит к необходимости рассчитывать профиль режущей кромки фасонного резца, т. к. он отличается от профиля детали.

Прежде всего, на чертеже детали необходимо определить наименьший диаметр профилированной поверхности, т. к. будем принимать, что в этой точке передний угол резца будет наибольший и соответствовать оптимальной величине, который зависит от прочности материала заготовки. Эта точка обозначается цифрой 1 (рис. 2), т. е.  $r_1 = r_{\min}$ .

Все остальные узловые точки нумеруются таким образом, чтобы, чем больше диаметр, тем больше был порядковый номер этой точки. Под узловой точкой понимается точка, в которой происходит соединение двух соседних поверхностей (рис. 2). Чем больше номер, тем больше диаметр заготовки в этом месте, и тем меньше будет передний угол у резца в этой точке (см. рис. 3), поэтому очень важно увеличить передний угол для точки 1.

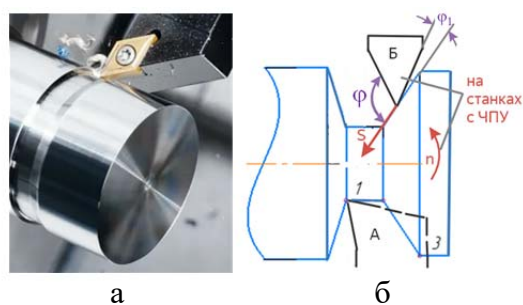


Рис. 1. Обтачивание поверхности на станке с ЧПУ с использованием ромбической СМП (а) и схема отточки вогнутой поверхности при малой ширине зоны обработки (б)

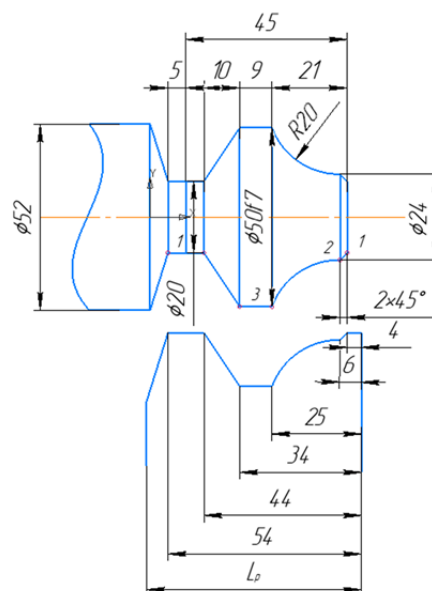


Рис. 2. Контур режущей кромки фасонного резца



Если несколько узловых точек имеют одинаковый диаметр, то величина переднего угла у них будет одинаковой. Поэтому для таких узловых точек часто используется одно и то же число (см. рис. 2).

Для расчёта переднего угла для любой точки вводится размер  $h$  для призматических фасонных резцов (рис. 3) и  $m$  для круглых фасонных резцов (рис. 4). Величина размера  $h$  или  $m$ , перпендикулярного к продолжению передней поверхности резца, рассчитывается одинаково по формуле  $h(m) = r_1 \times \sin \gamma_1$  как катет прямоугольного треугольника со сторонами  $A_1$  (второй катет) и  $r_1$  (гипотенуза) (рис. 3 и 4).

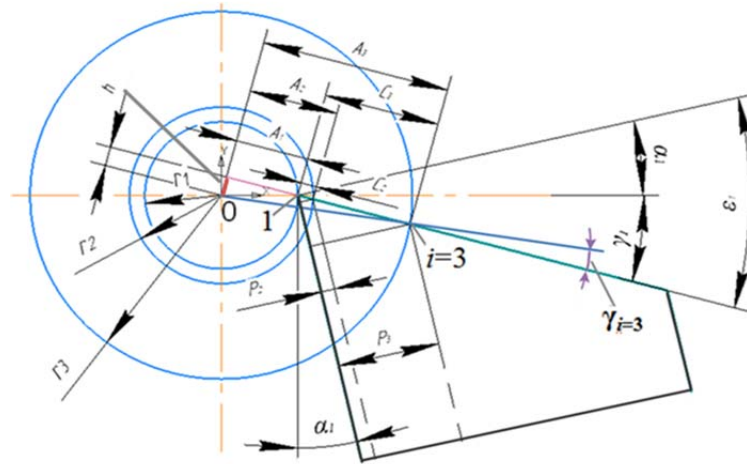


Рис. 3. Положение передней поверхности призматического фасонного резца и обозначение передних углов  $\gamma$  для точек 1 и  $i = 3$

Расстояние от точки пересечения этого перпендикуляра до точки 1 вдоль продолжения передней поверхности обозначается символом  $A_1$  (рис. 3 и 4). Её величина рассчитывается по формуле  $A_1 = r_1 \times \cos \gamma_1$ .

Величину переднего угла в точке 2 можно рассчитать, исходя из уравнения:  $\sin \gamma_2 = h / r_2$ . Расстояние  $A_2$  рассчитывается через радиус детали в точке 2 и косинус переднего угла  $\gamma$  второй точки:  $A_2 = r_2 \times \cos \gamma_2$ .

Расстояние от точки 1 до точки 2 вдоль передней поверхности обозначается символом  $C_2$ :  $C_2 = A_2 - A_1$ .

Для любой точки  $i$  можно рассчитать величины этих размеров:  $\sin \gamma_i = h / r_i$ ,  $A_i = r_i \times \cos \gamma_i$ ,  $C_i = A_i - A_1$ .

Для того, чтобы рассчитать глубину профиля по задней поверхности  $P_i$  у призматического резца, необходимо сначала рассчитать сумму переднего угла  $\gamma_1$  и заднего угла  $\alpha_1$  в точке 1:  $\varepsilon_1 = \gamma_1 + \alpha_1$ . Тогда  $P_i = C_i \times \cos \varepsilon_1$ .

Наиболее сложно обработать профиль задней поверхности призматического резца с требуемыми размерами  $P_i$ , перпендикулярными к задней поверхности (рис. 3). Чаще всего производится предварительное строгание профиля по задней поверхности, а затем заднюю поверхность окончательно шлифуют абразивным кругом только с продольной подачей. Абразивный круг предварительно обрабатывается на станке с ЧПУ ромбическим твёрдосплавным резцом до требуемого расчи-

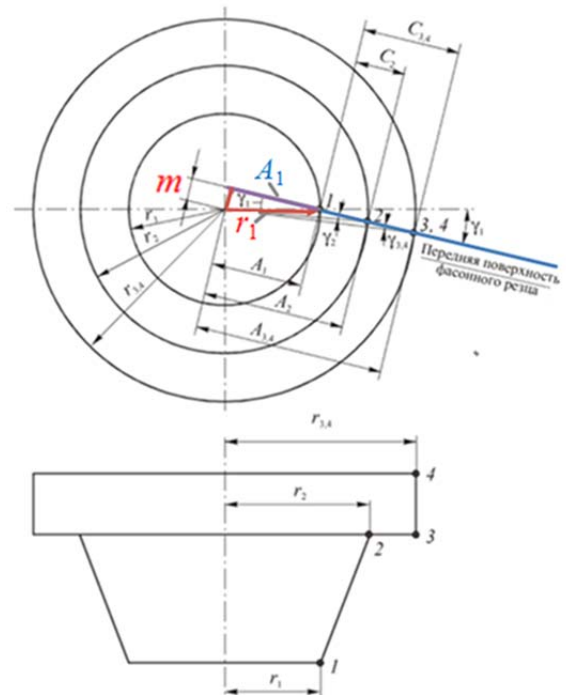


Рис. 4. Положение передней поверхности круглого фасонного резца и обозначение передних углов  $\gamma$  для точек 1, 2, 3, 4

танного профиля с размерами  $P_i$ . Скорость резания при обточке круга не должна превышать 30 м/мин.

Для определения наибольшей допустимой величины переднего угла в точке  $l$  необходимо определить технологические составляющие  $P_{zi=1}$  и  $P_{yi=1}$  силы резания в точке  $l$  [2], после этого рассчитать нормальную  $N_{i=1}$  и касательную  $F_{i=1}$  составляющие силы резания, зная величину переднего угла  $\gamma_{i=1}$  в рассматриваемой точке  $i = 1$  [3], рассчитать основные параметры эпюр нормальной  $\sigma_{i=1}$  и касательной  $\tau_{i=1}$  контактных напряжений, построить эти эпюры [4], приложить полученную внешнюю нагрузку к передней поверхности фасонного резца.

Силы можно рассчитать по удельным силам резания для рассматриваемого переднего угла  $\gamma$  [2]. Некоторые результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина с передним углом  $\gamma = 35^\circ$  при обработке стали 40X резцом с длиной контакта по режущей кромке  $b = 2$  мм представлены на рис. 5. В режущем клине в области режущей кромки наблюдаются сжимающие напряжения с их наибольшей величиной  $\sigma_z = -1503,8$  МПа.

Сравнение величины наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_3 = 1531,8$  МПа с предельно допустимым на сжатие  $\sigma_b = 3350$  МПа и на изгиб  $\sigma_{и} = 3300$  МПа для быстрорежущей стали Р6М5 показывает, что даже при  $\gamma = 35^\circ$  и большой радиальной подаче  $s_{рад} = 0,37$  мм/об прочности режущего клина достаточно для выполнения обработки.

Однако при такой большой подаче будут возникать большие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  из-за большой ширины фасонного резца, что может привести к появлению вибрации. Поэтому рекомендуется использовать меньшую подачу  $s_{рад} = 0,11$  мм/об.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Проектирование режущих инструментов, Методические указания и задания к курсовой работе для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения» ИДО / сост. С.В. Кирсанов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 77 с.
2. Козлов В.Н., Дин Ц., Чжан Х. Определение внешней нагрузки для расчёта на прочность режущего инструмента // В.Н. Козлов, Ц. Дин, Х. Чжан / Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. – Томск, Томский политехнический университет, 2022 – с. 90–93.
3. Козлов В.Н., Дин Ц., Ли В. Исследование распределение контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали / В.Н. Козлов, Ц. Дин, В.Ли / Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. – Томск, Томский политехнический университет, 2022 – с. 98–101.
4. Козлов В.Н., Чжан Х., Петровский Е.Н. 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-практической конференции. – Томск, Томский политехнический университет, 2022 – с. 94–97.

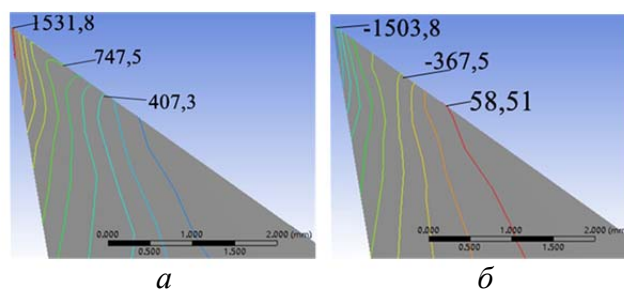


Рис. 5. Распределение эквивалентных  $\sigma_3$  (а) и нормальных  $\sigma_{z\max}$  (б) напряжений (МПа) в остром токарном резце. Сталь 40X – Р6М5,  $b = 2$  мм,  $\gamma = +35^\circ$ ,  $s_{рад} = 0,37$  мм/об

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ Д-144 ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ КЛАССА STAGE II

Алушкин Т.Е.<sup>1</sup>, Мещеряков М.Ю.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, магистр группы 4АМЗК,  
E-mail: timofey.alushkin@gmail.com;  
<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант,  
E-mail: justbegold@outlook.com

В условиях нарастающих санкций в отечественном двигателестроении наблюдается тенденция отказа от наращивания производства самоходных машин с топливной аппаратурой аккумуляторного типа (Common-rail). Однако тренд на ужесточение снижения вредных выбросов вместе с отработавшими газами сохраняется. На данный момент в России выпускаются двигатели, которые соответствуют экологическим классам Stage-II и Stage-III A и Stage-III B. Серийно выпускаются модернизированные комплекты топливной аппаратуры класса Stage-II для серийных моделей двигателей разработанных и запущенных в производство еще с конца XX века. В данной работе авторы представили результаты испытаний поршневого четырехцилиндрового 4-тактного дизельного двигателя Д-144 без наддува [1] с комплектом топливной аппаратуры, состоящей из топливного насоса высокого давления PP4M9P1-g фирмы Motorpal и форсунками 28.112010-02.01 АЗПИ, что соответствует его работе в соответствии с требованиями экологического стандарта Stage-II.

Испытуемый двигатель представлен в модификации 27,2<sup>+3</sup> кВт с номинальной частотой вращения 1500±20 мин<sup>-1</sup>.

Испытательная гидравлическая станция является запатентованной оригинальной установкой, разработанной сотрудниками кафедры агроинженерии Томского сельскохозяйственного института – филиала ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ [2]. Более подробное описание работы гидравлической станции представлено в указанном патенте.

Регистрация основных параметров работы двигателя производилась при помощи прибора PLSD-01, также разработанного сотрудниками кафедры и защищенного патентом [3]. Во время стендовых испытаний при помощи указанного прибора регистрировались следующие параметры: частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>; давление масла в главной масляной магистрали, кгс/см<sup>2</sup>; температура масла в картере двигателя, °С;

Оценка дымности производилась при помощи дымомера МЕТА-01, в режиме регламентируемом [4], а также на нагрузочной характеристике (рис. 1).

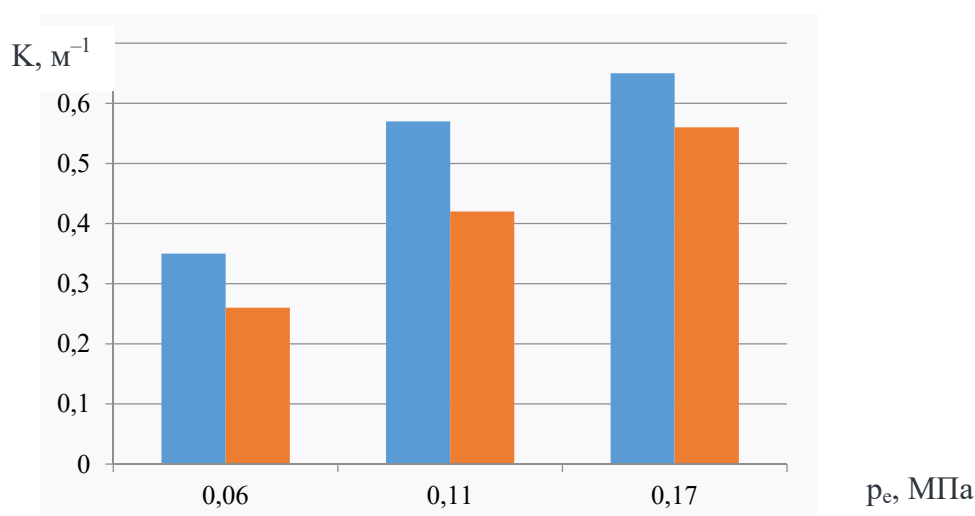


Рис. 1. Оценка коэффициент поглощения светового потока на нагрузочном режиме работы двигателя Д-144 при штатной топливной аппаратуре и модернизированной (синий цвет – насос НД-21/4, форсунки 16.112010, красный – насос PP4M9P1-g, форсунки 28.112010-02.01)

При оценке дымности для двигателя Д-144 установлено наибольшее снижение коэффициента поглощения светового потока с  $0,57 \text{ м}^{-1}$  до  $0,40 \text{ м}^{-1}$  (29,8%) при исследовании нагрузочной характеристики при среднем эффективном давлении цикла  $0,11 \text{ МПа}$ , что косвенно свидетельствует об улучшении рабочего процесса. В таблице 1 представлены результаты оценки дымности в режиме минимально устойчивой частоты вращения на холостом ходе и в режиме свободного выбега.

Таблица 1

Параметр	Значение
Насос НД-21/4, форсунки 16.1112010	
Частота вращения коленчатого вала – $700 \pm 20 \text{ мин}^{-1}$	$0,25 \text{ м}^{-1}$
Свободное ускорение	$6,67 \text{ м}^{-1}$
Насос РР4М9Р1-g, форсунки 28.112010-02.01	
Частота вращения коленчатого вала – $700 \pm 20 \text{ мин}^{-1}$	$0,16 \text{ м}^{-1}$
Свободное ускорение	$4,30 \text{ м}^{-1}$

Анализируя данные в табл. 1 видно, что снижение дымности отработанных газов произошло наиболее значительно на режиме минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала с  $0,25$  до  $0,16 \text{ м}^{-1}$  (36 %). На режиме свободного ускорения получен схожий результат – снижение с  $6,67$  до  $4,3 \text{ м}^{-1}$ . Это составляет 35,5 %.

При использовании комплекта топливной аппаратуры класса STAGE II получено значительное снижение дымности отработанных газов двигателя Д-144, который используется как на самоходных, так и на транспортных машинах и комплексах.

#### Список литературы:

1. Дизель Д-144. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. (Д-144-0000100ТО). Владимир, 1979. – 148 с.
2. Патент № RU 2021102123. Российская Федерация, МПК G01M 15/02 (2006.01). Установка для испытания на работоспособность систем силовых агрегатов транспортных и самоходных машин: № 2021102123: заявл. 29.01.2021: опубл. 11.08.2021 / Власов Ю.А., Алушкин Т.Е., Мещеряков М.Ю., заявитель ТГАСУ. 7 с.
3. Свидетельство для регистрации программы для ЭВМ № 2022612504. Российская Федерация. PLSD program: Дата регистрации 28.02.2022: номер и дата поступления заявки: 2021680141 03.12.2021: Дата публикации и номер бюллетеня: 28.02.2022 Бюл. № 3 / Мещеряков М.Ю., Алушкин Т.Е., Кабакаев Е.А., Правообладатели Мещеряков М.Ю., Алушкин Т.Е., Кабакаев Е.А.
4. ГОСТ Р 52160-2003 «Автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния (с Изменением N 1)». – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2007. – 15 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ

Дин Ц.<sup>1</sup>, Чжан Х.<sup>2</sup>, Козлов В.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

Е-mail: czezhu1@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

Е-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОмШ,

Е-mail: kozlov-viktor@bk.ru

При несвободном резании большая часть силы резания приходится на главную режущую кромку, особенно при глубине резания  $t$  более 1 мм (рис. 1). Напряженно-деформированное состояние (НДС) режущего клина в главной секущей плоскости, проходящей на расстоянии более трёх радиусов в вершине  $r$ , предполагается плоским и должно быть таким же, как и при прямоугольном свободном резании [1–4] (рис. 2).

Для изучения процесса резания и измерения составляющих силы резания часто используется строгание полосы из обрабатываемого материала, закреплённой в тисках, которые устанавливаются на динамометре. Он, в свою очередь, устанавливается на столе вертикально-фрезерного станка. Скорость резания  $v$  обеспечивается за счёт продольной подачи стола  $s_{\text{мин}}$  (мм/мин). При такой схеме обработки резец неподвижен, поэтому удобно наблюдать за процессами со стороны его боковой поверхности. Для записи процесса образования стружки используется видео камера.

Недостатком этого способа является небольшая скорость резания, поскольку даже при наибольшей продольной подаче стола  $s_{\text{мин}} = 1250$  мм/мин скорость резания составляет  $v = s_{\text{мин}} / 60 = 20,8$  м/мин, поэтому результаты экспериментов можно использовать только для инструментов, изготовленных из быстрорежущей стали.

При точении незакаленной конструкционной стали твердосплавными инструментами, применяемыми в производстве, скорость резания составляют от 120 м/мин при черновой обработке до 450 м/мин при получистовой обработке.

В нашем исследовании мы использовали программное обеспечение Compass для моделирования режущего клина резца и заготовки, после чего их импортировали в программное обеспечение Workbench ANSYS для моделирования процесса строгания. Этот метод позволяет исследовать процесс резания без использования динамометра и устанавливать высокую скорость резания. Подобное моделирование выполнялось и другими исследователями [5–7], но с другими материалами заготовки.

В нашем случае мы установили размер виртуальной заготовки  $200 \times 100 \times 20$  мм, а передний угол токарного инструмента  $\gamma = 40^\circ$  (рис. 3). Для обеспечения скорости резания  $v = 120$  м/мин необходимо настроить инструмент на движение в направлении оси OX со скоростью 3 м/с. Так как при моделировании нет необходимости оставлять инструмент неподвижным, то использовалось перемещение резца, а не заготовки (рис. 4).

Было наложено фиксированное ограничение снизу на смещение в направлениях осей OX, OY и OZ четырех поверхностей, за исключением поверхности разреза, на небольшую часть заготовки снизу.

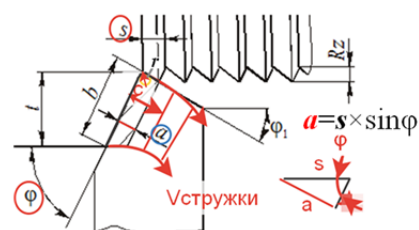


Рис. 1. Основные параметры геометрии токарного резца и режима резания на виде сверху при несвободном косоугольном резании

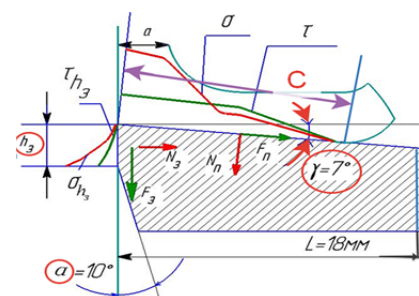


Рис. 2. Распределение контактных напряжений на поверхностях резца в главной секущей плоскости



Поскольку программа ANSYS не может моделировать износ по задней поверхности режущего инструмента, будем считать, что резец не изнашивается при строгании этой заготовки длиной 200 мм, что вполне допустимо. В последующих экспериментах мы добавим на 3-D моделях искусственную фаску износа по задней поверхности разной длины  $h_3$  (мм), а также сравнительные эксперименты при скорости резания  $v$  от 180 м/мин до 220 м/мин.

Время анализа кинетического ортогонального резания составляет 0,05 с. Его результаты показывают, что при установившемся резании наибольшая величина эквивалентного напряжения находится на прирезцовой поверхности стружки и составляет  $3,08 \times 10^9$  Па (3080 МПа), а минимальное значение 1028 МПа на второй части контакта с передней поверхностью резца (см. рис. 4).

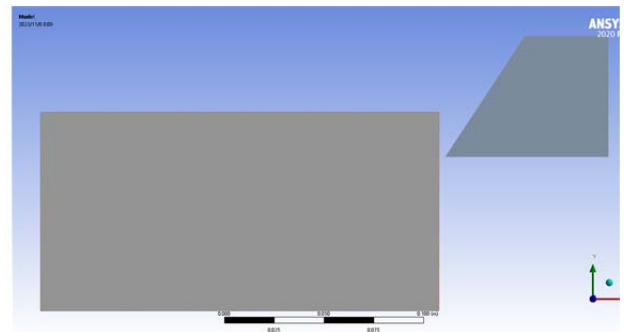


Рис. 3. Положение резца перед врезанием в заготовку при моделировании строгания пластины. Сталь 40X – T15K6,  $\gamma = 40^\circ$

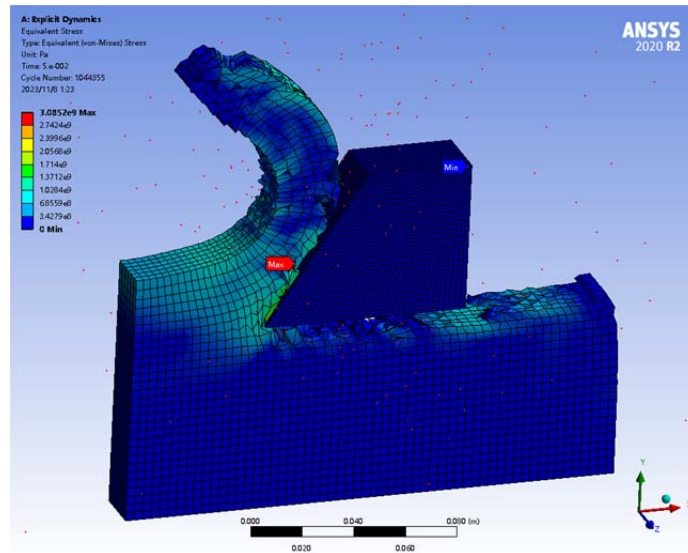


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в зоне резания и в стружке при моделировании процесса строгания пластины. Сталь 40X – T15K6, передний угол  $\gamma = 40^\circ$ , скорость резания  $v = 120$  м/мин, глубина резания  $t = 25$  мм, ширина пластины  $b = 20$  мм

На рис. 5, б видно, что через 0,02 с после начала строгания (после врезания резца в заготовку) уже начинает формироваться стружка, которая отделяется от заготовки и перемещается по передней поверхности резца.

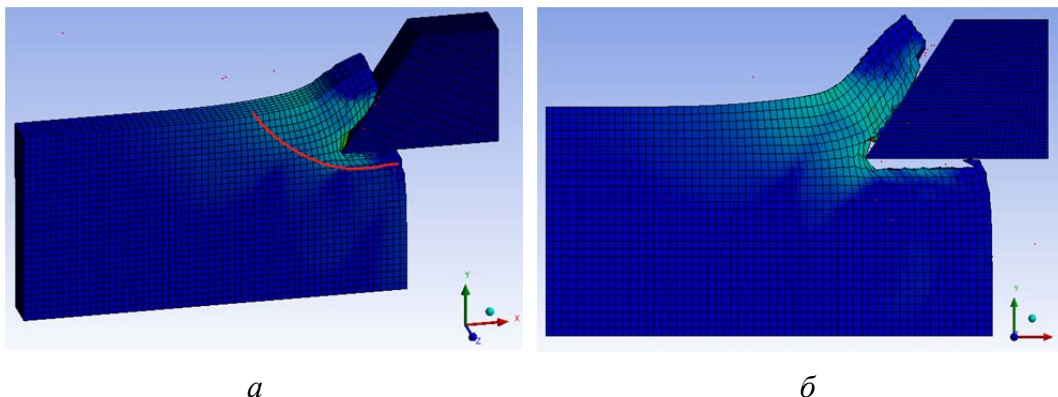


Рис. 5. Картина распределения эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в заготовке: а – через 0,01 секунды после врезания; б – через 0,02 с после врезания

Анализируя взаимосвязь между эквивалентным напряжением  $\sigma_e$  (МПа) и эквивалентной относительной деформацией  $\varepsilon$  (мм/мм) по времени  $\tau$  (с), мы видим, что график изменения наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{e \text{ наиб}}$  быстро увеличивается до 2500 МПа в течение 0,01 секунды после того, как резец касается заготовки (рис. 6, а). В этот момент в заготовке в зоне условной плоскости сдвига образуется разделительная линия в форме дуги (см. рис. 5, а). В основном она стабильна в течение периода от 0,01 до 0,02 секунды.

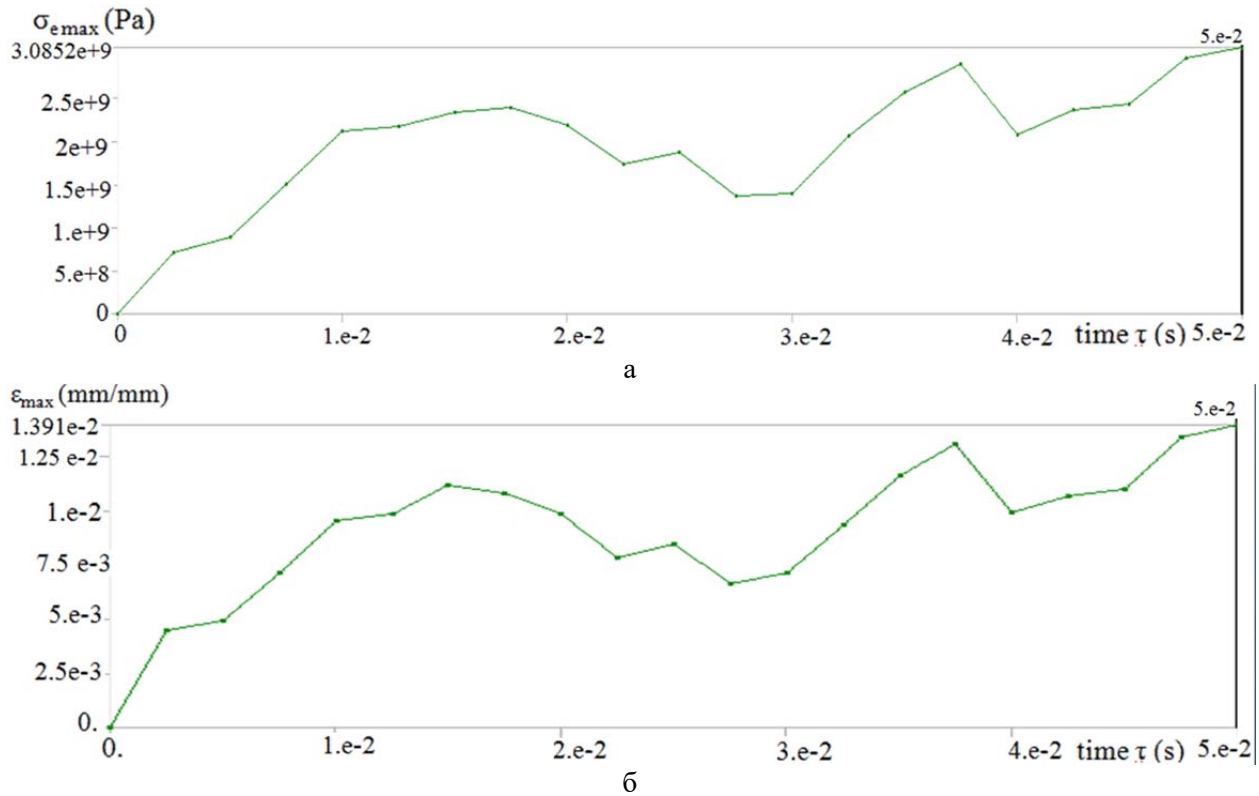


Рис. 6. График изменений величины наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{max}}$  (Па) (а) и величины наибольшей эквивалентной относительной деформации  $\varepsilon$  (мм/мм) в области стружкообразования от начала врезания по времени  $\tau$  (с)

Затем сформированная стружка движется по передней поверхности. На прирезцовой части стружки при моделировании процесса резания образуются угловатые конечные элементы (см. рис. 4 и 7), которые соприкасаются с передней поверхностью, а затем отделяются от неё в конце длины контакта стружки с передней поверхностью.

Анализ изменения величины наибольшего эквивалентного напряжения остановился на  $\tau = 0,05$  с, а резец остановился, немного не доходя до края заготовки, т. е. как бы была зафиксирована картина распределения эквивалентных напряжений и эквивалентных относительных деформаций. График изменения наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{e \text{ max}}$  во времени визуальнo (рис. 6, а) показывает изменение напряжения в стружке.

В области условной плоскости сдвига, отделяющей стружку от заготовки [1, 2], программа ANSYS показывает равномерное распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  величиной около 1028 МПа. В заготовке перед областью стружкообразования и ниже плоскости резания (линии среза)  $\sigma_e \approx 343$  МПа.

График изменения величины наибольшей эквивалентной относительной деформации  $\varepsilon_{\text{max}}$  (мм/мм) от времени резания  $\tau$  (мм) (рис. 6, б) аналогичен графику изменения наибольшего эквивалентного напряжения (рис. 6, а). Наибольшая величина  $\varepsilon_{\text{наиб}} = 0,0139$  наблюдается перед завершением резания.

Самая большая разница между картиной распределения эквивалентной относительной деформации и картиной распределения эквивалентного напряжения заключается в



том, что эквивалентная деформация все еще отображается на поверхности 3D модели заготовки в виде небольшого зеленого квадрата (рис. 7).

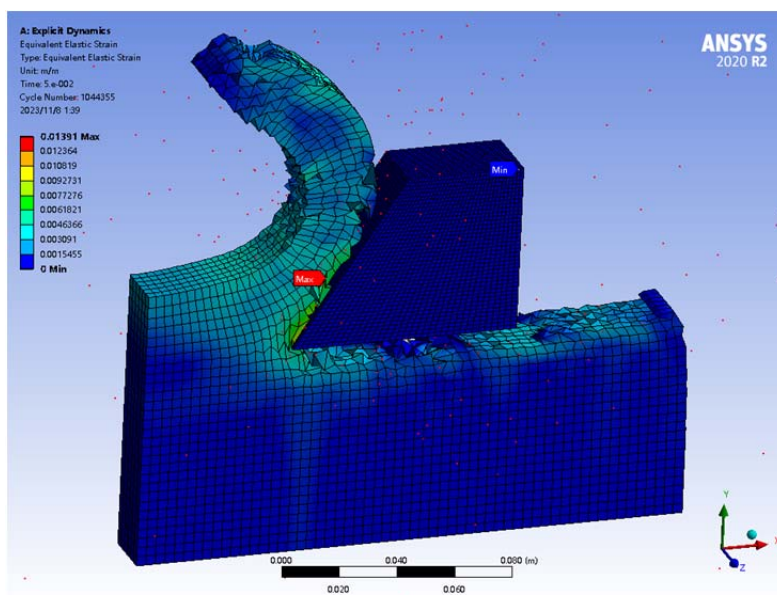


Рис. 7. Распределения эквивалентной относительной деформации  $\epsilon$  (мм/мм) при установившемся резании

Сравнивая график изменения наибольшей эквивалентной относительной деформации  $\epsilon_{\max}$  от времени резания  $\tau$  (мм) (см. рис. 6, б) и график изменения наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{\max}$  (см. рис. 6, а), можно обнаружить, что они имеют одинаковые периоды роста и уменьшения. Это связано с формированием очередного элемента стружки (участки с увеличением  $\sigma_{\max}$  и  $\epsilon_{\max}$  на графиках) и частичного отделения сформированного элемента стружки от заготовки (участок уменьшения  $\sigma_{\max}$  и  $\epsilon_{\max}$  на графиках).

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

#### Список литературы:

1. Кожевников Д.В., Гречишников В.Л., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / под редакцией С.В. Кирсанова. – 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. – 528 с: ил.
2. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
4. Армареги И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армареги, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
5. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.
6. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.
7. Маслеников И.А., Соколов Ю.А., Копаев В.Н. Исследование напряжённого состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYS Workbench / Обработка материалов резанием, Санкт-Петербург: Политехника, 2012, № 5–6 (71–72). – С. 18–23.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Чжан Х.<sup>2</sup>, Дин Ц.<sup>3</sup>, Ди Ч.<sup>4</sup>, Ван Ш.<sup>5</sup>, Пань Ц.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: czechul@tpu.ru;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ31,

E-mail: dc01@tpu.ru;

<sup>5</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154А01,

E-mail: vs08@tpu.ru;

<sup>6</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154А02,

E-mail: pc01@tpu.ru

Изменение скорости резания неоднозначно влияет на силы резания и качество обработанной поверхности. Нами были проведены эксперименты по определению этого влияния. Силы резания измерялись с помощью токарного трёхкомпонентного динамометра Kistler, термоэлектродвижущая сила (ТЭДС) – методом естественной термопары. Для этого токарный резец изолируется от станка, к нему прикрепляется медный провод в изоляции, а его второй конец прикрепляется к микроамперметру. К другому контакту микроамперметра крепится второй участок медного провода, а его свободная часть выполняет роль токосъёмника, когда его прижимают к корпусу заднего центра во время резания. Конечно, лучше это делать через специальный токосъёмник, закреплённый на заднем конце шпинделя токарного станка (рис. 1), но это слишком сложно.

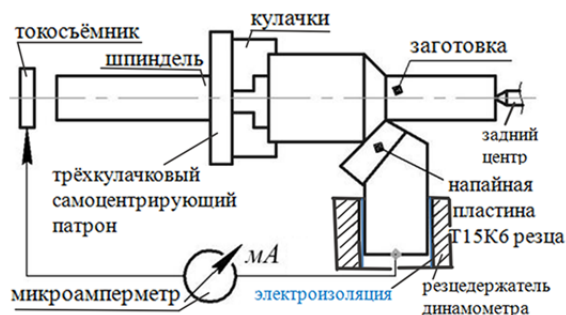


Рис. 1. Схема измерения термо-ЭДС (температуры резания) методом «естественной термопары»

Тарировочный коэффициент для термопары Сталь 45-Т15К6  $K_{\Theta} = 19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{кА}$ . Этот коэффициент можно приблизительно рассчитать при предположении, что зависимость термотока от температуры линейная, начинается с  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , и при появлении синего цвета стружки температура соответствует  $608 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Так как при скорости резания  $v \approx 63 \text{ м/мин}$  цвет стружки изменился с белого на синий и при этом  $\Theta_{\text{ТЭДС}} = 31 \text{ мкА}$ , то  $K_{\Theta} = \Theta / \Theta_{\text{ТЭДС}} = 608/31 = 19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{кА}$ .

Минимальная частота вращения шпинделя станка была  $12,5 \text{ об/мин}$ , а максимальная –  $1600 \text{ об/мин}$ . При большей частоте вращения задний вращающийся центр, которым поджималась заготовка через центровочное отверстие, сильно нагревался, что могло привести к заклинанию его подшипников и срезу заднего центра.

Результаты измерения сил представлены в таблице 1. Т. к. сигнал с динамометра Kistler идёт на монитор с соответствующим усилением и сразу в ньютонах, то определять тарировочные коэффициенты по каналам  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  не требуется.

Диаметр заготовки  $\varnothing d = 76,8 \text{ мм}$ , скорость резания рассчитывалась по формуле  $v = \pi \times d \times n / 1000 \text{ (м/мин)}$ . Подача  $s = 0,26 \text{ мм/об}$  и глубина резания  $t = 2 \text{ мм}$  не менялись при проведении экспериментов. Толщина среза  $a$  (мм) рассчитывается по формуле:  $a = s \times \sin \varphi = 0,26 \times \sin 45^{\circ} = 0,18 \text{ мм}$ . Стружка отбиралась после проведения точения при каждой частоте вращения  $n$ , после чего измерялась толщина стружки  $a_1$  с помощью индикатора на стойке и записывалась в графу 9. Коэффициент усадки стружки по толщине рассчитывался по формуле:  $K_a = a_1/a$  и записывался в графу 10.

По данным экспериментов (табл. 1) были построены графики изменения температуры резания  $\Theta$  и усадки стружки по толщине  $K_a$  при изменении скорости резания  $v$  (рис. 2). Было отмечено появление нароста при скорости резания 9,6 м/мин, а его исчезновение – при 60,3 м/мин, после появления стружки синего цвета, что отмечено на рис. 2. Прирезцовая поверхность стружки после достижения скорости резания  $v = 60,3$  м/мин стала блестящей и без бороздок, вызванных наростом.  $\Theta$  (°C) ε.

Таблица 1

*Экспериментальное определение составляющих силы резания  
при изменении скорости резания*

Сталь 45 – Т15К6;  $\phi = 45^\circ$ ;  $\phi_1 = 45^\circ$ ,  $r = 0,1$  мм,  $\gamma = 7^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\phi d = 76,8$  мм,  
 $s = 0,26$  мм/об,  $t = 2$  мм

$n$ , об/мин	$v$ , м/мин	$P_z$ , Н	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$\Theta_{\text{ТЭДС}}$ , μА	$\Theta$ , °C	$a$ , мм	$a_1$ , мм	$K_a$	$Rz$ , мкм	Примечание
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
12,5	3	1920	1560	903	6	120	0,18	1,1	6,1	60	
25	6	1050	823	662	10	203	0,18	0,7	3,9	62	
40	9,6	990	781	543	13	275	0,18	0,57	3,2	65	
80	19,3	970	695	401	14	301	0,18	0,47	2,6	66	
125	30,1	850	623	392	17	340	0,18	0,43	2,4	70	
160	38,6	980	788	456	30	594	0,18	0,48	2,7	65	
250	<b>60,3</b>	1080	825	622	<b>31</b>	<b>608</b>	0,18	0,61	3,4	45	<b>появился синий цвет стружки</b>
315	76	1030	815	611	36	703	0,18	0,56	3,1	40	
630	152	840	706	555	39	760	0,18	0,47	2,6	35	
1250	301	820	522	362	44	868	0,18	0,31	1,72	30	обработанная пов. блестит
1600	386	780	414	236	46	908	0,18	0,28	1,6	30	обработанная пов. блестит

При увеличении скорости резания более 60 м/мин нарост исчезает, температура резания увеличивается, от этого увеличивается пластичность материала заготовки в зоне первичной пластической деформации. Однако при этом более существенно увеличивается скорость деформации в этой зоне, поэтому материал становится менее пластичным, что вызывает уменьшение усадки стружки (см. рис. 2), а вследствие этого и уменьшение всех технологических составляющих  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  силы резания (рис. 3).

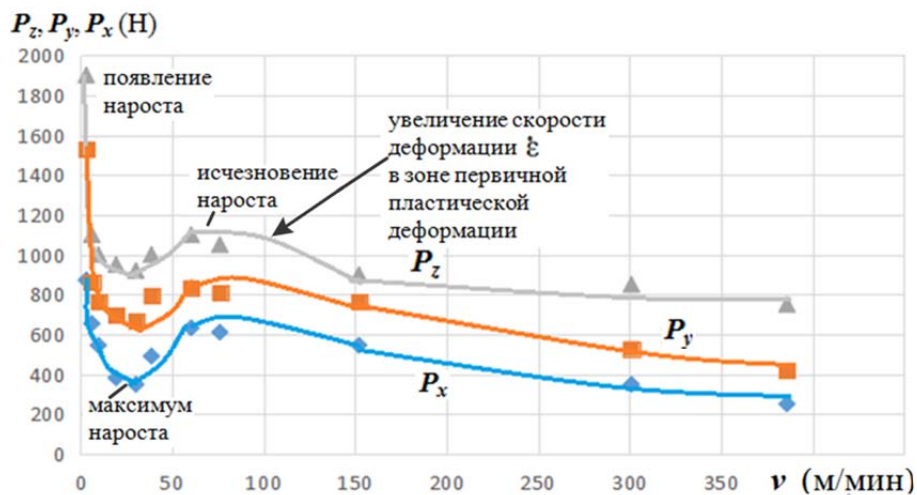


Рис. 3. Влияние скорости резания  $v$  (м/мин) на технологические составляющие  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (Н) силы резания

Определять показатель степеней  $n_p$  при скорости резания  $v$  в известной формуле (1) при скорости резания менее 70 м/мин очень сложно из-за нестабильности образования нароста. Поэтому ограничимся расчётом при  $v > 70$  м/мин.

$$P_{z,y,x} = 10 \times C_p \times t^{xp} \times s^{yp} \times v^{np} \times K_p, \text{ [Н]}, \quad (1)$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и режущего материала;  $K_p$  – произведение ряда коэффициентов, учитывающих влияние прочности обрабатываемого материала на силу резания, влияние главного угла в плане  $\phi$ , главного переднего угла  $\gamma$ , угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$ , радиуса при вершине резца  $r$  на силу резания.

По графикам в двойных логарифмических координатах  $\lg P_z = f(\lg v)$  и  $\lg P_y = f(\lg v)$  при  $v > 70$  м/мин были определены показатели степени  $n_{pz}$  и  $n_{py}$  соответственно (рис. 4).

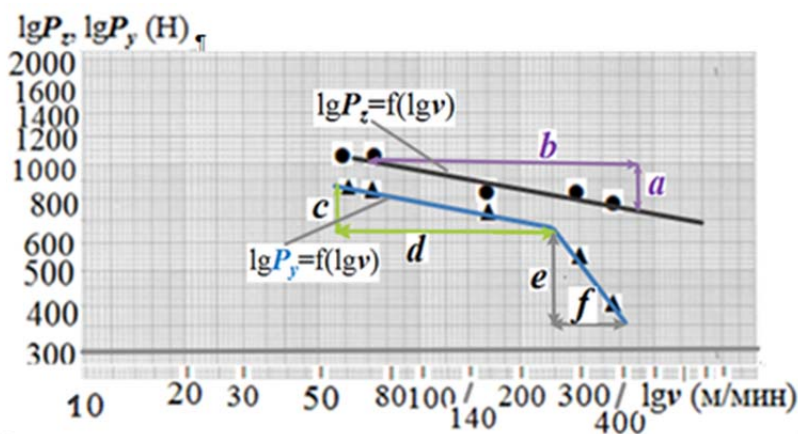


Рис. 4. Влияние скорости резания  $v$  (м/мин) на технологические составляющие  $P_z$  и  $P_y$  силы резания (Н) в двойных логарифмических координатах

Определяем показатель степени для скорости резания  $v$  при расчёте тангенциальной силы  $P_z$  (размеры  $a, b, c, d, e$  и  $f$  указаны при их измерении на мониторе персонального компьютера с увеличенным рисунком для уменьшения погрешности при их измерении штангенциркулем ШЦ – I – 150 – 0,1):  $n'_{pz} = a/b = 11,35/67 = 0,17$ , а т. к. при увеличении

скорости резания происходит уменьшение силы резания, то перед числом будет знак минус, т.е.  $n_{P_z} = -0,17$ .

Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало менее существенное уменьшение силы  $P_z$  при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ( $n_{P_z \text{ сгр}} = -0,3$ ).

Аналогично определяем показатель степени для скорости резания  $v$  при расчёте радиальной силы  $P_y$ . На рис. 4 необходимо выделить 2 диапазона:

1) при  $v = 63 - 250$  м/мин  $n_{P_y} = c/d = 10/53 = -0,19$ . Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало менее существенное уменьшение силы  $P_y$  в диапазоне  $v = 63 - 250$  м/мин при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ( $n_{P_y \text{ сгр}} = -0,3$ ).

2) при  $v = 250 - 400$  м/мин  $n_{P_y} = e/f = 21/17 = -1,23$ . Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало более существенное уменьшение силы  $P_y$  в диапазоне  $v = 250 - 400$  м/мин при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ( $n_{P_y \text{ сгр}} = -0,3$ ).

Заключение

1. Для определения соответствия между силой тока термо ЭДС и средней температурой резания можно использовать соотношение температуры резания при отпуске (появление синего цвета стружки) и силой тока ТЭДС, что заменяет сложное тарирование термомпары **сталь – твёрдый сплав** в печи.

2. При проведении экспериментов отличие показателя степени  $n_{P_z}$  и  $n_{P_y}$  почти в 2 раза меньше, чем по справочнику ( $n_{P_z \text{ эксп}} = -0,17$  и  $n_{P_y \text{ эксп}} = -0,19$  против  $n_{P_z \text{ сгр}} = -0,3$ ).

3. Во диапазоне  $v = 250 - 400$  м/мин увеличение скорости более 250 м/мин приводит к очень существенному уменьшению радиальной составляющей силы резания  $P_y$ , что не отмечено в справочниках [1], учебной [2, 6] и научной литературе [3, 4, 5, 7], поэтому является научной новизной.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т. 2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 2012. 496 с., ил.

2. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126717> (дата обращения: 14.04.2019). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.

3. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

4. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.

5. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.

6. Армарега И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарега, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

7. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. Москва: Машиностроение, 2009. 640 с.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «ПЕРЕСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ»

Пермяков М.Д.  
НИ ТПУ, ИШПР

E-mail: Matveyka545@gmail.com

**Ключевые слова:** центробежный насос, влияние вязкости, технические характеристики, пересчёт характеристик, программный комплекс.

### Аннотация

Основной проблемой работы насосного оборудования на производстве является изменение вида перекачиваемой жидкости и невозможность пересчета характеристик центробежных насосов на предприятии. Необходимость отправлять данные на завод-изготовитель связана с большими финансовыми затратами и потерями времени.

Центробежный насос – устройство для перекачивания жидкости, в котором энергия передается жидкости вращающимся рабочим колесом.

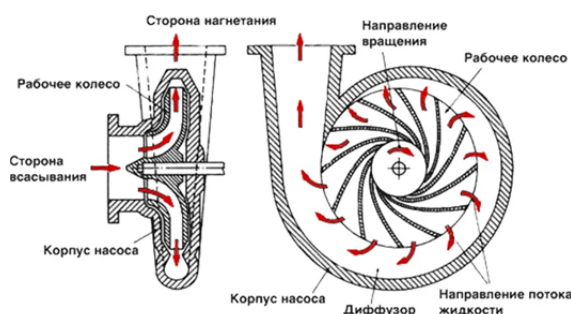


Рис. 1. Принцип действия центробежных насосов

Основными техническими характеристиками центробежных насосов является графическая зависимость напора- $H$ , мощности- $N$  и КПД- $\eta$  от подачи насоса  $Q$  при постоянной частоте, вращения.

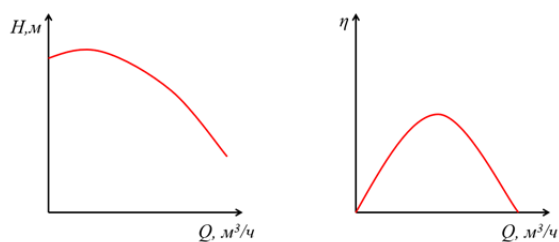


Рис. 2. Графическая зависимость технических показателей центробежных насосов.

Технические показатели любого насоса определяются при работе его на воде с плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $0,01 \text{ см}^2/\text{с}$  при  $t_{cm} = 20^0 \text{ С}$  и вносятся в техническую документацию на насос. На производстве часто используют другие вещества для перекачки, рассмотрим отличие основных характеристик жидкостей нефтяных производств от воды.

Таблица 1

Характеристики жидкостей нефтяных производств

Нефть	$\rho = 730 \div 1040 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \div 55 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$
Пластовая вода	$\rho = 1010 \div 1090 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu = 0,2 \div 1 \text{ мПа} \cdot \text{с};$
Буровой раствор	$\rho = 900 \div 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu = 1 \div 100 \text{ мПа} \cdot \text{с};$



Из-за различий требуется подбор насоса для нужной производительности и пересчет характеристик уже существующих насосов, что требует обращения к заводу изготовителя, затраты много времени и средств.

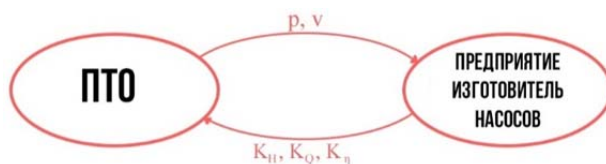


Рис. 3. Схема процесса передачи данных

Решением этой проблемы будет разработка программного комплекса для расчета характеристик насосов с вязкими веществами. Программный комплекс будет включать локальное ПО и базу данных насосов, а также веб-интерфейс для удобства использования. Преимущества такой программы в удобстве и простоте использования, постоянном расширении базы данных насосов, различные формы взаимодействия с потребителями продукта.

Вопрос влияния вязкости жидкости на рабочие характеристики центробежного насоса находился в центре внимания в течение многих десятилетий, и так до сих пор проблема пересчета не решена.

### Заключение

Учитывая глобальность проблемы и ее важность, можно с точностью сказать, что разработка программного комплекса, для подсчета характеристик насосов, очень сильно поможет предприятиям и сэкономит время и денежные вложения в производство.

### Список литературы

1. Насосы для нефти и нефтепродуктов: устройство, виды: сайт. – URL: <https://oem-pump.ru/nasosy-dlya-nefti-i-nefteproduktov-ustrojstvo-vidy> (дата обращения: 17.11.2023).
2. Характеристика центробежного насоса и его преимущества // АКВАХИТ: сайт. – URL: <https://akvahit.ru/articles/kharakteristika-tsentrobezhnogo-nasosa-i-ego-preimushchestva/> (дата обращения: 17.11.2023).
3. Основные технические показатели насосов // StudFiles: сайт. – URL: <https://studfile.net/preview/2630568/page/> (дата обращения: 17.11.2023).



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИПЛОСКОСТНЫХ ПЕРЕДАЧ С ДРУГИМИ ВИДАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

*Пуунов А.С.*

*НИ ТПУ, ИШПР*

E-mail: alekspaspiun@gmail.com

**Ключевые слова:** механическая передача, планетарная передача, синтез передач, кинематика, передаточное число.

## **Аннотация**

Основной целью данной работы, является сравнительный анализ диплоскостной передачи с другими видами механических передач. В связи с этим, была поставлена задача: рассмотрение достоинств и недостатков в основных механических передачах.

## **Цилиндрические передачи**

Передаточное число у цилиндрического редуктора. Для одноступенчатых конструкций не превышает 6,3. Для двухступенчатых – 40; для трехступенчатых – 250.

Преимущества: 1. Цилиндрические передачи, способны передавать большую мощность; 2. Относительно невысокий люфт выходного вала позволяет использовать их в приводах позиционирующих устройств. 3. Обладают высокой надёжностью; 4. Большая степень вариативности зубчатых передач позволяет подобрать редуктор с оптимальным передаточным отношением.

Недостатки: 1. Очень низкое передаточное число одной ступени редуктора. Для получения более высокого передаточного отношения необходимо увеличивать количество ступеней, а это ведёт к увеличению габаритов; 2. Высокий уровень шума.

## **Конические передачи**

Для конической прямозубой передачи рекомендуемые значения передаточного числа  $u = 2 \dots 3$ , при колесах с круговыми зубьями – до 6,3.

Преимущества: 1. Обеспечение возможности передачи и преобразования вращательного движения между звеньями с пересекающимися осями вращения; 2. Конические передачи обладают возможностью изменять угол поворота, что обеспечивает большую гибкость в проектировании и соединении механических систем;

Недостатки: 1. Сложная технология изготовления и сборки конических зубчатых колес; 2. Большие осевые и изгибающие нагрузки на валы, в связи с консольным расположением зубчатых колес.

## **Червячная передача**

Если  $z$  равно единице, то в червячной передаче можно получить очень большие передаточные числа  $u = 7 \dots 100$  и более.

Достоинства: 1. возможность получения большого передаточного числа в одной ступени; 2. плавность и малошумность работы; 3. повышенная кинематическая точность.

Недостатки: 1. низкий КПД; 2. необходимость изготовления зубьев колеса из дорогих антифрикционных материалов; 3. необходимость регулировки и повышенные требования к точности сборки; 4. необходимость проведения специальных мер по интенсификации теплоотвода.

## **Планетарные передачи**

Передаточные числа простой планетарной схемы: 1,25 – 8, многоступенчатой: 30 – 1000.

Достоинства: 1. Малые габариты и масса. 2. Благодаря соосности ведущих и ведомых валов, эти передачи удобны для компоновки машин. 3. Планетарные передачи работают с меньшим шумом, в отличии от других зубчатых передач. 4. Малые нагрузки на опоры, что обуславливает малые потери в них и упрощает конструкцию опор. 5. Плана-

тарный принцип передачи движения позволяет получить большие передаточные отношения при малых габаритах и небольшом числе зубчатых колес.

Недостатки: 1. Повышенные требования к точности изготовления и монтажа передачи; 2. С ростом передаточного отношения, происходит резкое снижение К.П.Д.

### Диплоскостные передачи

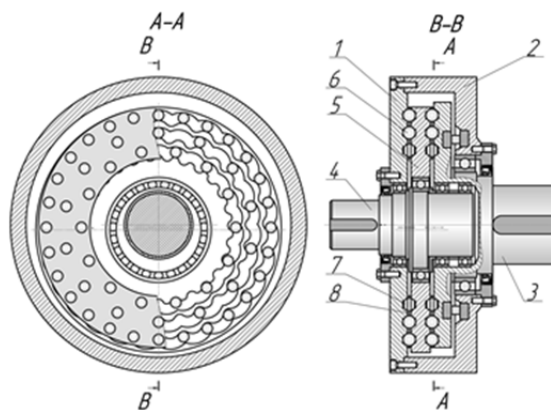


Рис. 1. Конструкция диплоскостной передачи

Два солнечных колеса – 1, одно из которых связано с корпусом – 2, а второе – с выходным валом – 3; водило – 4; сателлит – 5; две группы промежуточных тел-шариков – 6, размещенных во впадинах зубьев – 7, выполненных на торцевых поверхностях солнечных колес и сателлита; два сепаратора – 8, фиксирующие положения промежуточных тел-шариков – 6.

Принцип работы: Геометрические параметры в данной передаче связаны таким образом, что в каждой паре зацеплений, составленной солнечным колесом, сателлитом и сепаратором с промежуточными телами-шариками, являющимся условным самоустанавливающимся «паразитным» колесом, оси зацепления совмещены и тем самым сепаратор освобождается от усилий. Поверхностями зубьев на солнечных колесах и сателлите являются поверхности, соприкасающиеся с трубчатыми поверхностями, образованными сферическими поверхностями промежуточных тел-шариков в их заданных относительных движениях.[5]

Достоинства: 1. Самоустанавливаемость сепаратора; 2. высокий КПД за счет уменьшения потерь на трение; 3. увеличенной нагрузочной способности за счет многопарности зацепления, компактностью; 4. малые габариты и масса и т. д.

Недостатки: 1. Повышенные требования к точности изготовления и монтажа передачи; 2. Появление вибрации при эксплуатации.

### Заключение

Исходя из анализа достоинств и недостатков, можно прийти к заключению, что диплоскостные передачи имеют ряд преимуществ перед другими передачами. Но, данный вид передач также имеет и ряд проблем, решение которых, в настоящее время, является актуальным. В связи с этим, диплоскостная передача была выбрана для дальнейшего исследования.

### Список литературы

1. Магистерская диссертация – Анализ силовых характеристик передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой. Амиров Асет Маратович. Томск 2016.
2. Потери мощности в контакте цевок и зубьев планетарной передачи типа К-Н-V. А. П. Прудников. Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023.
3. Экспериментальные исследования профильных соединений деталей машин в условиях циклического нагружения. Ильиных В. А. Омский научный вестник. 2021.
4. Планетарная передача на базе диплоского зацепления с промежуточными телами. Ф.Р. Алиев, А.В. Лазуркевич, Ан И-Кан. Томский политехнический университет.

## ВЛИЯНИЕ МАРКИ ВОЛЬФРАМОВОГО НЕПЛАВЯЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОДА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЗАЖИГАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

*Пушкарев А.С.<sup>1</sup>, Гордынец А.С.<sup>2</sup>, Скрипко С.И.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*ТПУ, ИШНКБ, 1ВМ21,*

*E-mail: asp73@tpu.ru;*

<sup>2</sup>*ТПУ, ИШНКБ, доц.,*

*E-mail: asgord@tpu.ru;*

<sup>3</sup>*ТПУ, ИШНКБ, ст. преп.,*

*E-mail: sis9@tpu.ru*

Зажигания дугового разряда прямой полярности бесконтактным способом между вольфрамовым катодом и изделием, в первоначальный период характеризуется пространственной нестабильностью. Это проявляется в интенсивном блуждании катодных пятен по боковой поверхности катода, что приводит к неравномерному плавлению изделия. Для повышения качества сварных соединений, выполняемых одноимпульсной аргонодуговой сваркой необходимо исследовать влияние химического состава, геометрических размеров рабочей части вольфрамового электрода и амплитуды импульса сварочного тока на стабильность зажигания дугового разряда.

Исследование проводили на экспериментальной установке, которая обеспечивает бесконтактное зажигание дуги, а также формирование импульсов тока с различными амплитудно-временными параметрами. В качестве катода использовали вольфрамовые электроды марок WL20, WL15, WZ8, WC20, WT20, WR, WY20, WP диаметрами 1 мм, 1,6 мм, 2,4 мм с углами заточки 30°, 60°, 90° расположенные на расстоянии 1 мм от поверхности. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта, расход которого задавали равным 5 л/мин. Процесс зажигания дугового разряда записывали на высокоскоростную камеру, со скоростью 20000 кадров секунду.

Импульс тока задавали прямоугольной формы с амплитудой 50, 125 и 200 А и длительностью 200 мс. Каждый опыт был проведен по 10 раз. Длительность нестабильности оценивали по осциллограммам, а также на кадрах высокоскоростной видеосъемки.

По результатам эксперимента были построены диаграммы (рис. 1), анализ которых показал, что большая амплитуда тока импульса соответствует меньшему времени стабилизации процесса сварки. Процесс сварки стабильнее при увеличении амплитуды тока (рис. 1, а).

Увеличение диаметра электрода также незначительно увеличивает время стабилизации. В целом процесс сварки становится стабильнее (рис. 1, б).

Увеличение угла заточки увеличивает время стабилизации. Процесс сварки дестабилизируется (рис. 1, в).

Легирующие элементы, применяемые в вольфрамовых электродах, обладают незначительными отличиями друг от друга с точки зрения стабильности процесса сварки. Однако, чистый вольфрам значительно хуже проявляет себя при сварке импульсами прямой полярности, так как наиболее склонен к оплавлению (рис. 1, г).

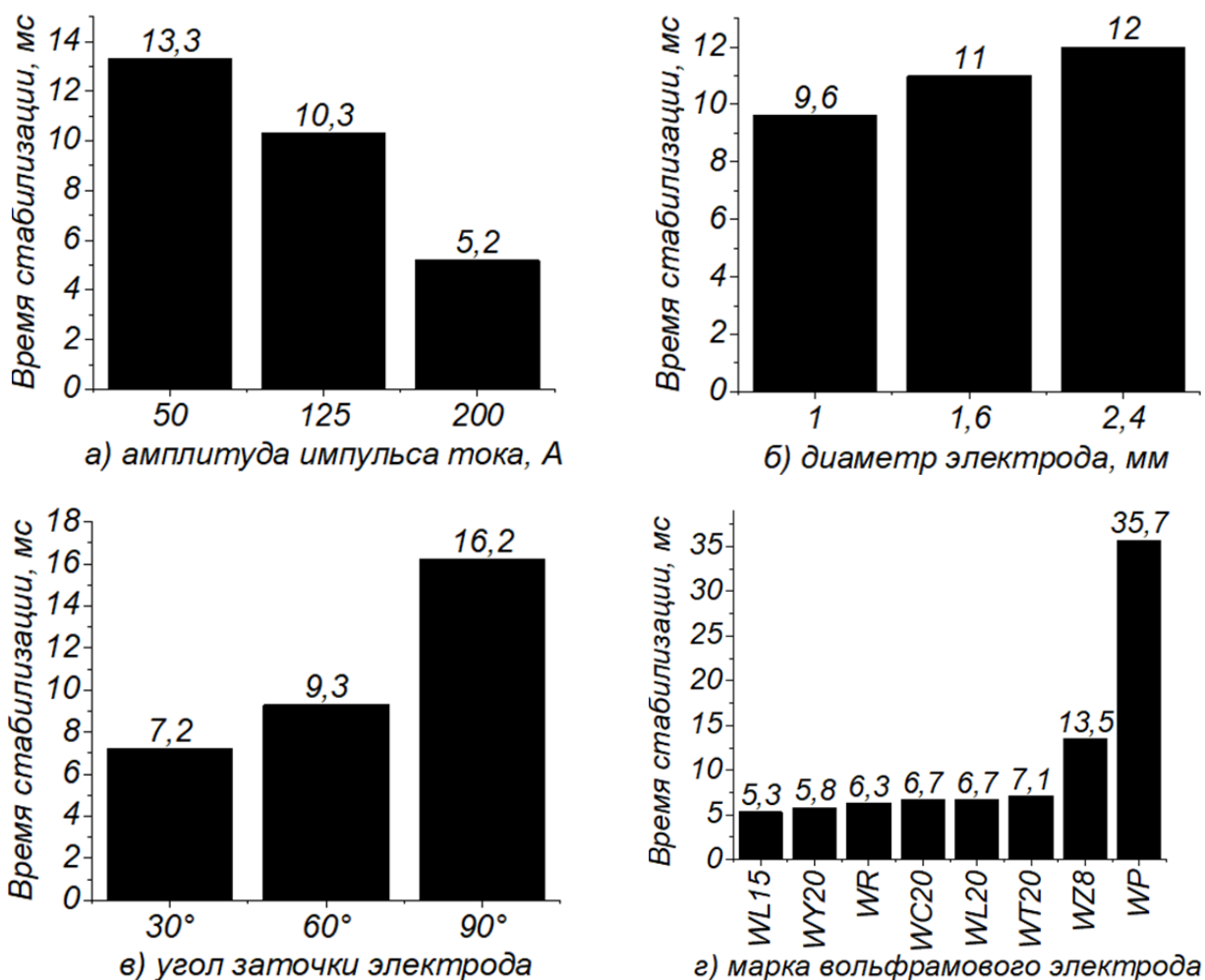


Рис. 1. Результаты эксперимента:

- а – зависимость времени стабилизации от амплитуды тока импульса;*
- б – зависимость времени стабилизации от диаметра электрода;*
- в – зависимость времени стабилизации от угла заточки электрода;*
- г – зависимость времени стабилизации от марки электрода*

## Вывод

Результаты эксперимента позволяют подобрать наиболее оптимальные параметры процесса сварки, а именно, амплитуду тока, диаметр, угол заточки и марку электрода для достижения наибольшей стабильности процесса сварки.

## Список литературы

1. Pang S., Cao B. Low current arc ignition stability in micro-TIG welding // J Manuf Process. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 69. P. 12–20.
2. de Oliveira Araújo M. S., da Silva P. C. S., de Araújo C. J. Mechanical behavior and fatigue life of micro welded joints obtained by TIG spots in NiTi wires // Smart Materials and Structures. Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 28, № 12

# РАЗРАБОТКА ПРИНТЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕЦИЗИОННОГО УСТРОЙСТВА ДОЗИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

*Рагимов Э.Р.<sup>1</sup>, Труфанова Н.С.<sup>2</sup>, Артищев С.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Магистрант каф. КУДР Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),*

*E-mail: Ragimov\_30@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Аспирант каф. КУДР Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),*

*E-mail: natalia.s.trufanova@tusur.ru;*

<sup>3</sup>*Доцент каф. КУДР Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), канд. техн. наук,*

*E-mail: sergei.a.artishchev@tusur.ru*

## **Введение**

В современной электронике печатные платы играют важную роль, обеспечивая электрическое соединение между компонентами. В последние десятилетия наблюдается глобальный рост разработки новых электронных устройств и приборов, что требует непрерывного развития процесса на стадии прототипирования печатных плат. Однако традиционные методы изготовления печатных плат, такие как фрезеровка или травление, имеют проблемы, связанные с высокой трудоемкостью создания прототипа и временными затратами разработчика. При изготовлении данными методами многослойной печатной платы в лабораторных условиях имеются ограничения, поэтому изготовить ее практически невозможно. Таким образом, аддитивное производство печатных плат, в том числе многослойных структур, основанное на принципе добавления функциональных материалов (паст) слоями, предлагается в качестве перспективной альтернативы. [1]

В данной статье представлено исследование аддитивного метода изготовления печатных плат с использованием специализированного принтера. Рассмотрены основные принципы работы принтера, устройства дозирования материалов, а также полученные результаты печати.

Принтер разработан с учетом требований высокой точности изготовления прототипов одно- и многослойных печатных плат и минимизации материальных затрат. В процессе печати используются проводниковые и диэлектрические пасты для создания многослойной структуры печатной платы. Такой метод производства позволяет достичь высокой точности и скорости изготовления прототипов печатных плат, следовательно, появляется возможность создавать сложные структуры за максимально короткое время. [2]

## **Прецизионное устройство дозирования**

Ключевой особенностью принтера печатных плат является прецизионное устройство дозирования функциональных паст, состоящее из комбинации поршневого и шнекового дозатора, представленное на рис. 1, а. [3] Для его перемещения используется трехкоординатная система под управлением микроконтроллера. Разработанный макет принтера печатных плат представлен на рис. 1, б.

Принцип работы поршневого дозатора заключается в нанесении функциональной пасты на поверхность подложки из шприца с помощью поршня, перемещаемого шаговым двигателем. Мощность и скорость движения поршня контролируются, чтобы обеспечить точное нанесение пасты в заданном объеме. Для передачи крутящего момента с шагового двигателя на поршень используется зубчатая передача. Такой механизм является одним из наиболее эффективных способов передачи крутящего момента. Он состоит из двух шестерней, которые взаимодействуют друг с другом. Для обеспечения точного перемещения поршня необходимо рассчитать зубчатую передачу с учетом пространственных ограничений в конструкции дозатора.

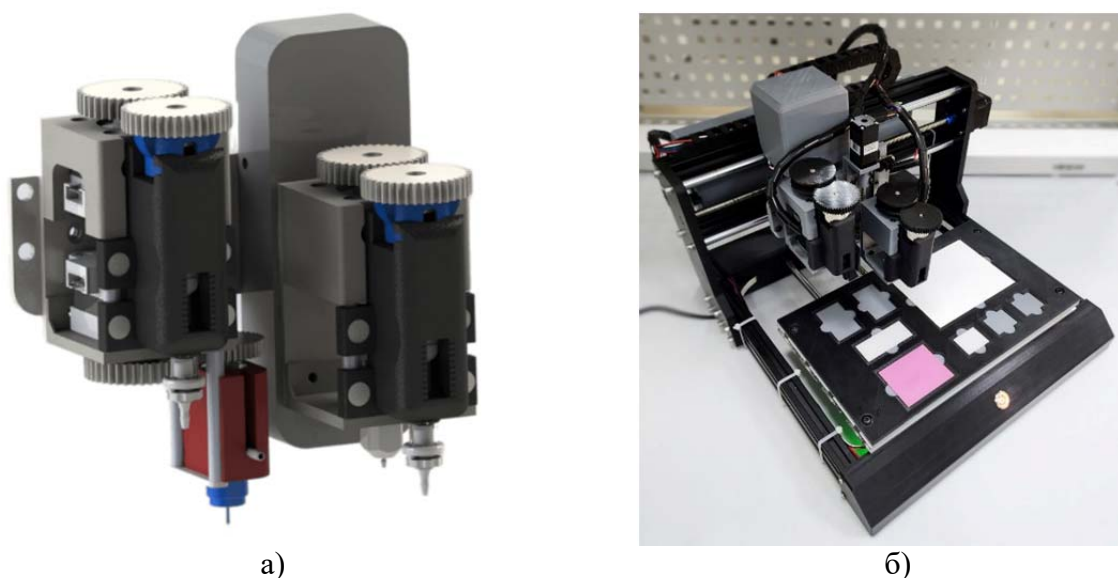


Рис. 1. Макет принтера для изготовления печатных плат:  
 а – трехмерная модель устройства дозирования материалов, б – общий вид устройства

Одним из важных параметров для определения конструкции шестерни является передаточное отношение (отношение числа зубьев на ведомой шестерне к числу зубьев на ведущей шестерне). Чем больше передаточное отношение, тем меньше момент и выше скорость вращения вала поршня. Обычно, большее количество зубьев на шестерне приводит к большему передаточному отношению, что в свою очередь увеличивает скорость вращения вала поршня и снижает момент. Однако, этот выбор является компромиссом между требуемыми характеристиками дозатора и ограничениями механической прочности и размеров шестерни. Таким образом, выбор размера шестерен и количества зубьев представляет собой оптимизацию передаточного отношения, момента и скорости вращения вала поршня на основе требуемых характеристик дозатора и ограничений конструкции. Поэтому при проектировании был выполнен расчет шестерней с наименьшим возможным передаточным отношением, обеспечивающим медленное перемещение поршня и, как следствие, высокую точность дозирования пасты через сопло. Количество зубьев оптимизировано с учетом требований к моменту и скорости вращения вала поршня, а также ограничений механической прочности и размеров шестерни. Для обеспечения поворота шагового двигателя без использования режима деления микрошага и выдавливания минимального объема пасты из дозатора можно использовать механический редуктор или схему из трех шестерней (рис. 2) с передаточным отношением, позволяющим получить необходимый угол поворота шагового двигателя.

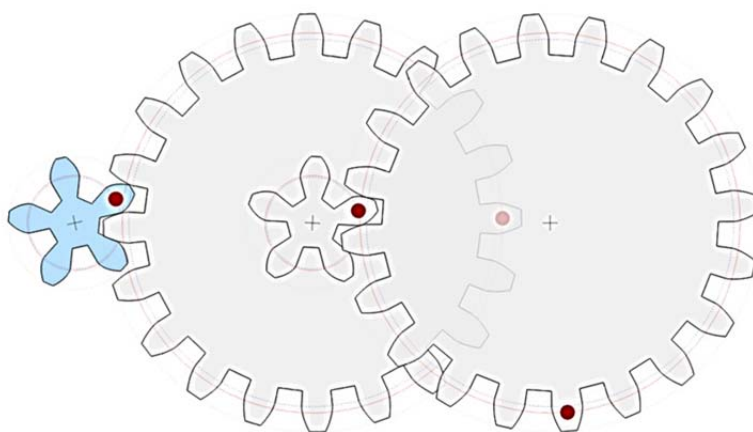


Рис. 2. Схема зубчатой передачи дозатора

Шнековой дозатор состоит из шнека, который вращается в цилиндрической гильзе, захватывая пасту у канала ее подачи и продавливая через сопло на подложку. Скорость вращения шнека является ключевым фактором для точности дозирования пасты. Для достижения высокой точности дозирования вязких паст также были рассчитаны параметры шнека, такие как длина, диаметр, шаг и форма винтовой линии.

Преимуществами разработанного устройства дозирования являются следующие параметры: прецизионность дозирования паст, что особенно важно для производства печатных плат высокого класса точности; возможность работать с различными типами функциональных паст; высокая производительность, которая позволяет увеличить скорость нанесения паст.

### **Печать экспериментальных образцов функциональными пастами**

При проведении экспериментов использовано сопло с диаметром выходного отверстия 150 мкм. В ходе исследования были проведены эксперименты для оценки качества печати и производительности принтера. С использованием электропроводящей серебро-содержащей пасты были нанесены линии на керамическую подложку, а также пример печати многослойной платы (рис. 3). Полученные результаты линий шириной 180 мкм позволили сделать вывод, что аддитивный метод изготовления печатных плат является эффективным и перспективным способом производства.



*Рис. 3. Пример печати многослойных*

Проект выполнен при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-29-00400.

### **Список литературы**

1. Развитие аддитивных принтерных технологий в электронике: под. ред. проф. Н.Д. Малютина / В.И. Туев, Н.Д. Малютин, Т.Н. Копылова и др. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2015. – 69 с.
2. Труфанова Н.С. Применение аддитивной принтерной технологии для изготовления многослойных печатных плат / Н.С. Труфанова, Э.Р. Рагимов, С.А. Артищев, А.Г. Лоцилов // Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век. – Т. 14. – № 4. – 2022. – С. 37–44.
3. Рагимов Э.Р. Оценка производительности двухэкструдерной системы дозирования вязких паст / Э.Р. Рагимов, Н.С. Труфанова, А.Т. Игнатьева, С.А. Артищев // XXVIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР-2023», 17–19 мая 2023 г., С. 203–206.



## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛАТУНИ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ИНФРАКРАСНОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

*Хузнахметов Р.М.<sup>1</sup>, Вологжанина С.А.<sup>2</sup>, Амяга Д.В.<sup>3</sup>, Рамос Веласкес А.<sup>4</sup>*  
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
E-mail: ruslan.rh44@gmail.com;  
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
E-mail: svet\_spb@mail.ru;  
<sup>3</sup>ООО «Лазерный Центр»,  
E-mail: joooneg@gmail.com;  
<sup>4</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО,  
E-mail: alejo.rave@outlook.com;

Лазерные технологии – достаточно новый вид обработки материалов, и количество исследований по данному виду технологии намного меньше, если сравнивать с традиционными методами обработки материалов;

Лазерное полирование является актуальным направлением исследований благодаря тому, что при такой обработке появляется возможность получения высокого качества поверхности материалов, что делает его полезным во многих областях науки и промышленности [1].

С помощью лазерного полирования металлов можно добиться результата, значительно превосходящего по качеству традиционные методы полирования [2].

Важно также уточнить, что полирование поверхностей с тонким рельефом, например, для изделий сложной конфигурации и малых размеров, практически невозможно с помощью традиционных методов полирования, но с помощью лазерного полирования можно добиться хорошего результата.

Целью работы является подбор режимов лазерной обработки для полирования деталей из сплава Л63 и исследование превращений, происходящих в поверхностном слое.

Исследуемым материалом является латунь Л63. Образцы обрабатывались лазерным излучением источника YPLN-1-100-50-M фирмы IPG Photonics системы TurboMarker фирмы ООО «Лазерный Центр». Поверхность была исследована с помощью оптического микроскопа ЛОМО МСП-2, изображения получены с помощью цифровой камеры Mars1300-60gc.

Латунь является сложным материалом для лазерной обработки [3]. Cu-Zn сплав обладает высоким коэффициентом отражения лазерного излучения [4], поэтому полирование при лазерной обработке на таком сплаве может выполняться прерывисто, либо не получаться вовсе.

Лазерное полирование сталей выполняется по разработанной ранее однопроходной методики – одним режимом полирования. Однако лазерное полирование латуни однопроходной методикой выполнить не удавалось – результат получался неудовлетворительным.

Для уточнения причин сложности полирования Л63 был проведен ряд экспериментов. Суть экспериментов заключалась в нанесении линий на поверхность образца с последующим исследованием областей, в которых наблюдался нерезкий переход к контрастной маркировке.

В табл. 1 указаны используемые режимы лазерной обработки, на рис. 1 отображена поверхность образцов из сплава Л63 после проведения эксперимента.

Таблица 1

*Режимы лазерной обработки*

Режим	$P$ , %	$V$ , мм/с	$F$ , кГц	$\tau$ , нс	$N$ , проходов
<b>А</b>	От 0 до 100, шаг 0,5 %	100	50	120	1
<b>Б</b>	От 0 до 100, шаг 0,5 %	500	50	120	1
<b>В</b>	От 0 до 100, шаг 0,5 %	1000	50	120	1

Примечание:  $P$  – мощность лазерного излучения,  $V$  – скорость перемещения луча,  $\tau$  – длительность импульсов,  $F$  – частота импульсов.

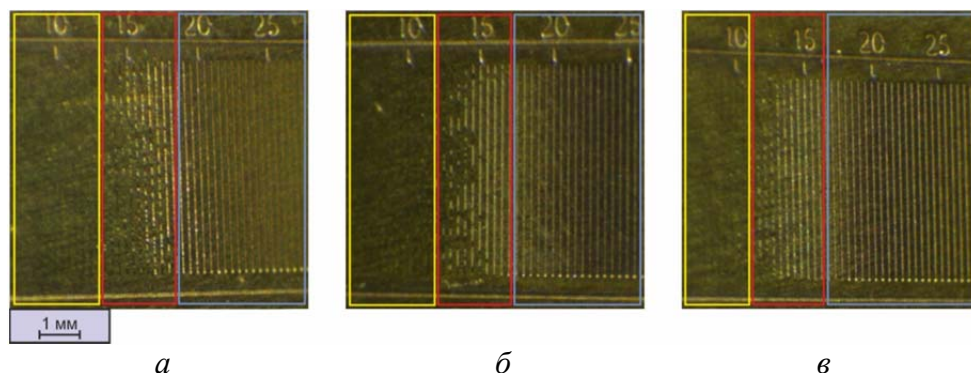


Рис. 1. Обработанная поверхность образцов из Л63

Справа показан внешний вид «переходной зоны» от неконтрастной маркировки к контрастной. Желтая область – неконтрастная маркировка, линия практически не видна. Красная область – прерывистая маркировка, линия видна с разрывами. Синяя область – контрастная маркировка.

Как видно, у латуни область, в которой наблюдается нерезкий переход от неконтрастной (рис. 1, а) маркировки к контрастной (рис. 1, б, в) достаточно широк.

Оксиды меди обладают более высокой поглощающей способностью, чем чистая медь. Поэтому аналогичный эксперимент было решено провести на предварительно оксидированной поверхности.

На основании эксперимента было установлено, что лазерное полирование латуни должно выполняться в несколько этапов, один из которых – лазерное оксидирование.

В дальнейшей работе использовали четырехстадийную методику.

Первый этап – лазерная чистка. Данный этап необходим для удаления оксидов с поверхности.

Второй этап – лазерное оксидирование поверхности.

Третий этап – предварительное полирование. Данный этап необходим, чтобы создать гладкий оксидный слой для последующего полирования, в ходе которого происходит подплавление и образование гладкой оксидной пленки за счет поглощения лазерного излучения нанесенными оксидами, полученными на предыдущем этапе.

Четвертый этап включает обработку с испарением оксидной пленки, что и позволяет получить высокое качество поверхности.

Для установления режима, обеспечивающего финишное полирование, на предварительно оксидированную поверхность была нанесена матрица режимов. На рис. 2 приведены результаты обработки, из которых для дальнейшего исследования были отобраны 4 режима, выделенные зелеными квадратами.

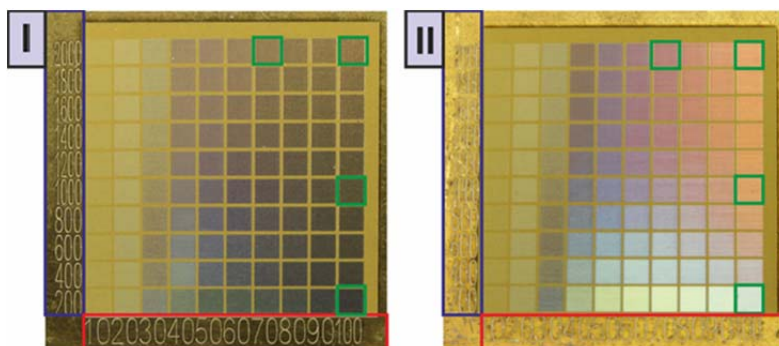


Рис. 2. Матрица режимов на тестовом образце из сплава Л63  
I – освещение сверху, II – освещение сбоку

В последующем, на образцах с помощью выбранных режимов проводили операцию лазерного полирования. Фотографии обработанной поверхности приведены на рис. 3 при использовании освещения сбоку и сверху.

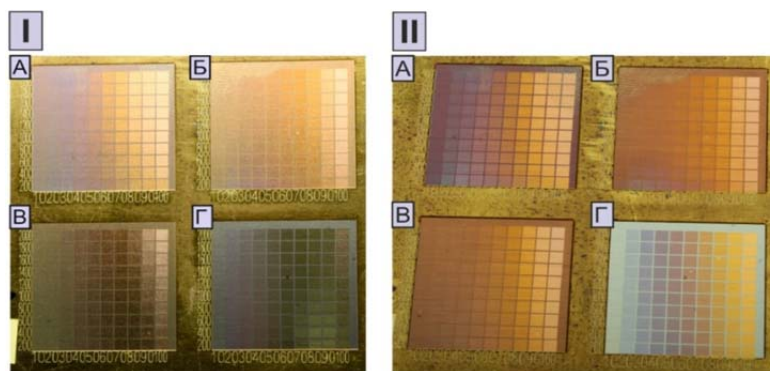


Рис. 3. Матрица режимов на тестовом образце из сплава Л63 для финишного полирования  
I – освещение сверху, II – освещение сбоку

Наилучший результат показал режим Г, так как полученная матрица финишного полирования по цвету оказалась наиболее приближена к цвету исходной поверхности.

Затем для уточнения режимов окончательного лазерного полирования были отобра- ны 2 режима, выделенные зеленым цветом на тестовой матрице (рис. 4). Режим с мощностью  $P = 100\%$  позволяет получить более яркий желтый цвет, режим с мощностью  $P = 90\%$  – более темный.

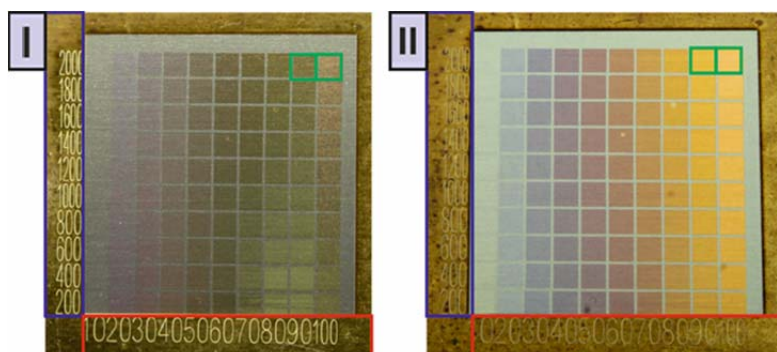


Рис. 4. Матрица режимов на тестовом образце из сплава Л63 для финишного полирования  
I – освещение сверху, II – освещение сбоку

Для сравнения многостадийной и одностадийной методики полирования были изго- товлены значки горного университета (рис. 5) из сплава Л63, которые подвергались лазер- ному полированию по исследованным режимам. Значок, полированный одностадийной ме- тодикой, обладает бело-желтым матовым оттенком (рис 5, в), в то время как поверхность образца, полированного многостадийной методикой, обладает желтым цветом (рис. 5, а, б).



Рис. 5. Значок с логотипом Горного Университета  
после лазерного полирования многостадийной методикой.

а – освещение сверху, б – освещение сбоку, в – Значок с логотипом Горного Университета  
после лазерного полирования одностадийной методикой

## **Выводы**

1. Показано, что маломощные лазерные источники (до 100 Вт) могут быть использованы для лазерного полирования латуни;
2. Выявлено, что для лазерного полирования латуней с помощью маломощных лазеров необходимо использовать многостадийную методику;
3. Разработаны режимы для лазерного полирования латуни.

## **Список литературы**

1. Larionova, E.V., & Khromova, E.I. (2014). Features of graphic objects transformation for models preparation by laser processing. *Journal of Mining Institute*, 209, 225. Retrieved from <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5315>.
2. Максаров В.В., Ольт Ю. Динамическая стабилизация процесса резания на основе локальной метастабильности в управляемых робототехнических комплексах на станках с ЧПУ //Записки Горного института. – 2017. – Т. 226. – С. 446–451.
3. Petkova A.P., Ganzulenko O.Yu. Features of colour ultradense multidimensional nanobarcodes created on the surface of items made of non-ferrous metals and their alloys. *Tsvetnye Metally*. 2023. No. 8. pp. 19–25.
4. Vologzhanina Svetlana A., Amiaga J.V., Ramos-Velazquez A. R. Laser oxide reduction during multipass relief forming on carbon steel surface *Optical and Quantum Electronics*. 2023. № 55. pp. 522–522. DOI: 10.1007/s11082-023-04688-x.

## АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Чжан Ц.<sup>1</sup>, Ци М.<sup>2</sup>, Козлов В.Н.<sup>3</sup>, Пань М.<sup>4</sup>, Клименов В.А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21,

E-mail: cinzhun1@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А1-21,

E-mail: 2629074591@qq.com;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОмШ,

E-mail: kovn@tpu.ru;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21,

E-mail: menhual@tpu.ru;

<sup>5</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор Ом,

E-mail: klimenov@tpu.ru

Аддитивно-субтрактивная технология подразумевает 3D (3D) печать заготовки и последующую механическую её обработку для устранения погрешности формы, удаления дефектного слоя, повышения точности и уменьшения шероховатости поверхностей детали, к которым предъявляются повышенные требования.

Аддитивные технологии (АТ) (англ. Additive Manufacturing) объединяют в себя методы послойного наращивания на основу слоя материала с особыми свойствами (например, с повышенной износостойкостью или химической инертностью) или синтеза деталей. Используются также термины «фаббер-технологии» (от англ. FaberTechnology, т. е. волоконная технология) и «3D-печать» (от англ. 3DPrinting), т. е. создание объёмных объектов (в трёх направлениях) [1].

В настоящее время этот вид получения деталей всё чаще используется для изготовления деталей в единичном производстве макетов и прототипов для изучения особенностей конструкции, её улучшения и последующего изготовления этих деталей уже обычными традиционными способами лезвийной обработки.

Однако по мере совершенствования устройств для 3D печати, получения высококачественных исходных порошков металлов и сплавов, разработки новых технологий эти АТ стали использоваться для изготовления полноценных деталей, имеющих высокую прочность и точность. Особое преимущество аддитивные технологии имеют при изготовлении нежёстких изделий сложной формы, которые традиционными способами изготовить практически невозможно.

Одним из существенных недостатков большинства методов АТ является малая скорость синтеза, т. е. получения изделия, особенно при высоких требованиях к точности и прочности. Некоторые методы требуют выполнения в вакуумных камерах или в среде инертного газа, что ограничивает размеры изделия.

В перспективе совершенствование устройств и методов 3D печати постепенно приведёт к широкому использованию АТ при изготовлении изделий, о чём свидетельствует появление 3D печати в школьных мастерских и даже в домашних условиях, и, что особенно важно, без применения больших, дорогих и сложных металлорежущих станков.

Существует множество методов реализации 3D печати, которые называются как различные технологии исполнения [1].

1. **Селективное лазерное плавление (СЛП) (SLM – Selectiv Laser Melting)** (или лазерное нанесение металла) – это метод, при котором лучом лазера расплавляется порошок из металла или другого материала и осаждается на подложке (рис. 1). Порошок доставляется в зону фокуса луча инертным транспортно-защитным газом для предотвращения окисления. После отверждения получается требуемое изделие. Траектория движения пятна лазерного луча определяет конфигурацию изделия. Этот метод является наиболее перспективным среди остальных методов аддитивного производства,



т. к. из-за малых размеров пятна синтеза (от 100 до 20 мкм в зависимости от мощности лазера) происходит более быстрое охлаждение изделия. Но этот фактор приводит и к уменьшению производительности. Достоинством СЛП является также малая шероховатость поверхностей ( $Ra < 2,5$  мкм), а высокая точность и прочность в случае применения мелкодисперсных и высококачественных порошков позволяет получать ответственные элементы изделий.

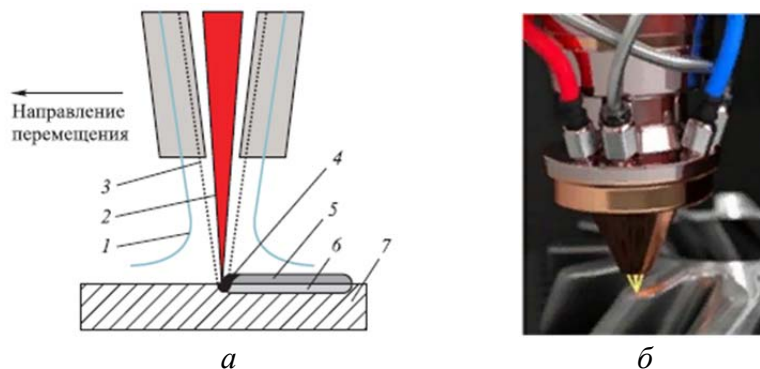


Рис. 1. Схема (а) и фото (б) формирования объёма селективным лазерным плавлением. 1 – защитный или транспортный газ; 2 – сфокусированный луч лазера; 3 – порошок; 4 – зона расплава; 5 синтезированный слой; 6 –высокотемпературная зона; 7 – подложка или исходная заготовка, на которую наносится материал при ремонте или для получения слоя с особыми свойствами

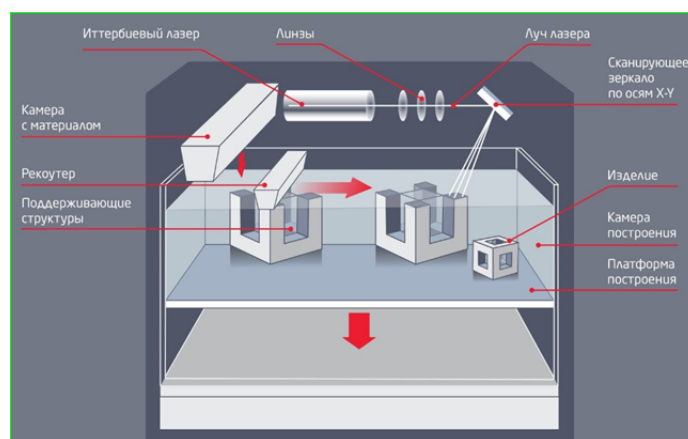


Рис. 2. Схема построения изделия в аддитивных установках SLM

**2. Метод лазерной стереолитографии (SLA – Stereolithogathy Laser Additional Method, или STL – Stereolitogathy Laser)** – это метод, при котором деталь послойно формируется на поверхности специального жидкого фотополимера, который отвердевает под действием лазерного излучения с определённой длиной света или при освещении ртутной лампы. Свет попадает только на те участки поверхности фотополимера, где будут формироваться участки поверхности будущей детали. После этого изделие погружается на толщину будущего слоя, и процесс продолжается.

Для увеличения производительности применяется DLP-проектор (Digital Light Processing), с помощью которого проецируется изображение очередного слоя сразу на всей поверхности ванны. В разновидности этого метода SLA-DLP применяется нижнее расположение проектора под ванной с прозрачным дном, что позволяет получать не верхний, а нижний слой, после чего образуемое изделие поднимается на толщину следующего слоя.

**3. Селективное лазерное спекание (SLS – Selective Laser Sintering, или DMLS – Direct Metal Laser Sintering)** – это метод, при котором изделие образуется путём плавления порошка пластика или металла лазерным лучом (рис. 3). Порошок насыпается равномерным слоем в резервуаре перед каждым новым слоем. После окончания формирования слоя резервуар опускается на толщину нового слоя, порошок насыпается (может даже другого состава) и процесс продолжается.

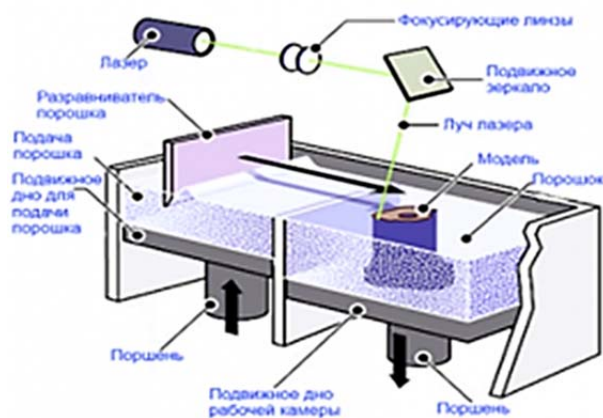


Рис. 3. Схема SLS

В рассматриваемом методе не требуются поддерживающие элементы «висящих в воздухе» частей детали, т. к. они будут опираться на оставшийся невогребованный порошок. Для предупреждения окисления в камеру нагнетается инертный газ, а для уменьшения требуемой мощности для спекания температура в камере устанавливается чуть ниже точки плавления порошка.

4. Реализация **электронно-лучевой плавки (EBM – Electron Beam Melting)** возможна только в вакуумной камере, а в остальном он похож на SLS/DMLS метод. Размеры объекта ограничиваются размерами вакуумной камеры с учётом пространства для развёртки электронного пучка.

5. При использовании метода «**Моделирование методом наплавления**» (**FDM – Fused Deposition Modelling**) изделие образуется послойной укладкой расплавленной проволоки из наплавляемого материала. Для этого используется пластик или даже воск для уменьшения требуемой температуры и уменьшения себестоимости объекта. Но в металлических принтерах **проволочно-дугового аддитивного производства (WAAM – Wire Arc Additive Manufacturing)**, похожий на FDM (рис. 4) используется металлическая проволока различной толщины. Это самый производительный метод при использовании металла, но изделие получается грубым, особенно при большой толщине проволоки. Проволока подаётся в экструзионную головку, где происходит нагрев до температуры, близкой к температуре плавления и выдавливание материала на охлаждаемую платформу. После нанесения слоя происходит опускание платформы на один слой. Для предотвращения провисания нависающего слоя типа карниза используются несколько рабочих головок, одна из них выдавливает рабочий материал, а остальные – легко удаляемый впоследствии материал поддержки.



Рис. 4. Создание детали методом наплавления с использованием проволоки

6. Использование метода **многоструйного моделирования (MJM – Multy JetModelling)** похоже на метод FDM, но вместо экструдера применяется струйная печать воском или порошком с клеящим составом, иногда используются фотополимеры (рис. 5). В последнем случае дополнительно используются ртутные лампы для быстрого отверждения слоя.



Рис. 5. Метод многоструйного моделирования

7. При изготовлении изделия методом **ламинирования (LOM – Laminated Object Manufacturing)** используется последовательное склеивание слоёв плёнок за счёт нагрева или давления с последующим вырезанием лазерным лучом или лезвием требуемого контура на каждом слое. Провисание нависающих элементов может представлять определённую проблему, но при печати неметаллами выступы не мешают выполнять ламинирование.



8. Под методом «3D печать» (3D Printing, или 3DP – Three-Directional Printing) может подразумеваться любой из приведённых методов, но обычно он выделяется как метод, при котором изделие образуется из порошка путём его склеивания клеем, подаваемым струйным принтером. Принтер имеет простую конструкцию (рис. 6), компактен, сравнительно недорогой, и поэтому изделия-модели имеют минимальную себестоимость. Из-за этих достоинств метод часто используется для получения навыков программирования по аддитивным технологиям, в том числе и в школах. Добавление в клей красителя при печати или применение нескольких печатающих головок с разноцветным клеем позволяет выполнять цветное моделирование, что увеличивает товарный вид изделий и делает работу более привлекательной. К тому же появляется навык использования как бы разных материалов при создании объекта, что является одним из достоинств аддитивных технологий.

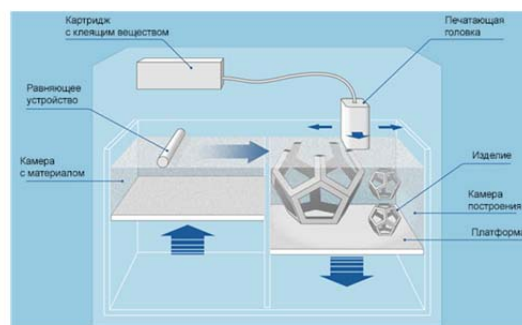


Рис. 6. 3D принтер с использованием склеивания порошка клеем

9. Метод компьютерной осевой литографии, или вычислительной осевой литографией (CAL – Computed Axial Litography) получают изделия за счёт отвердевания специальных полимеров под действием света. Основное преимущество этого метода высокая скорость создания объекта – от 30 секунд до нескольких минут. Программное обеспечение CAL переводит цифровую модель желаемого объекта в серию изображений, которые проецируются на вращающийся сосуд с фото отвердевающей жидкостью. Когда общий объем света превосходит заданный предел, материал отвердевает.



Рис. 7. Объект, сформированный CAL технологией

Такой метод позволяет печатать мягкие объекты без каркасов или систем поддержки, даже с нависающими элементами, т. к. образуемый объект находится в сосуде с жидкостью высокой вязкости (рис. 7). Можно делать и достаточно твёрдые наслоения.

Аддитивные технологии используются в машиностроении, судостроении, космонавтике, при строительстве домов, мостов и др. крупных объектов; в сельскохозяйственной промышленности, фармакологии, медицине для протезирования, пищевой промышленности при оформлении тортов и пр.

В машиностроении АТ используются для создания объектов ажурных, оболочковых, а также маложёстких конструкций (рис. 8, а), когда традиционные способы изготовления изделия невозможны или требуют удаления большого объёма металла из исходной плиты. АТ очень часто используются при изготовлении решётки и подобных изделий (рис. 8, б).



Рис. 8. Ажурное маложёсткое изделие, изготовленное АТ (а) и решётка (б)

При изготовлении изделий методом наплавки из проволоки получается неравномерная толщина стенки (рис. 9 а, б), особенно при использовании повышенных режимов получения изделия. Это вызывает необходимость последующей обработки фрезерованием для увеличения точности размеров и формы детали. Технологии, связанные с удалением материала, называются **субтрактивными**.

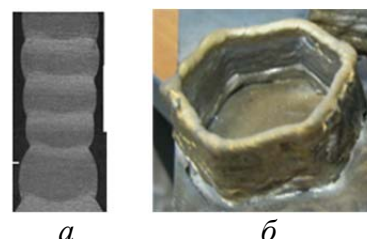


Рис. 9. Сечение стенки изделия, полученного методом наплавки проволокой (а), и его общий вид (б)

Чаще всего для окончательной механической обработки используются фрезерование концевыми фрезами (рис. 10). При этом происходит изменение величины сил из-за изменения толщины среза и поворота зубьев фрезы. Эти изменения составляющих сил приводят к изменению упругой деформации системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД), появлению вибрации, особенно при резонансе, когда частота внешней нагрузки совпадает с частотой собственных колебаний, ухудшению качества обработки и уменьшению надёжности работы фрез.

Большое значение имеет величина радиальной силы  $P_y$ , действующей в радиальном направлении, из-за малой жёсткости фрезы в этом направлении. Износ по задней поверхности, примыкающей к главной режущей кромке, существенно увеличивает величину этой силы, что может привести к выкрашиванию режущей кромки или даже поломке фрезы [2, 3, 4].

Малая жёсткость концевых фрез в радиальном направлении из-за небольшого диаметра пальцевых концевых фрез ( $d_{фр} = \text{Ø}6\text{--}12$  мм) и большой длины вылета  $l_2$  рабочей части фрезы относительно цанги ( $l_2 = 3 \cdot d_{фр}$ ) приводит к отжиму фрезы от заготовки и возникновению вибрации.

В ходе наших исследований выполнялась обработка стали четырёхзубыми концевыми фрезами из твёрдого сплава ВК8, во время которой с помощью динамометра Kistler непрерывно измерялись составляющие  $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_x$  силы резания. В программное обеспечение динамометра Kistler заложено, что вертикально направленная сила на мониторе обозначается как  $F_z$ , сила в горизонтальной плоскости в направлении к оператору как  $F_y$ , сила в горизонтальной плоскости в направлении справа налево как  $F_x$  [5].

С учётом встречного фрезерования стороны заготовки с наибольшей длиной (заготовка установлена **поперёк** динамометра, направление минутной подачи  $s_{мин}$  (мм/мин) стола станка справа налево, как показано на рис. 10) сила  $F_x$  на мониторе есть сила  $P_h$ , сила  $F_y$  на мониторе есть сила  $P_v$ , а сила  $F_z$  на мониторе есть осевая сила  $P_x$  (рис. 11).

В данной статье представлены результаты измерения сил при глубине фрезерования  $t = 3,8$  мм, равной чуть меньше половине диаметра фрезы. Поэтому при врезании зуба на экране монитора появляются составляющая  $F_x = P_h$ , которая является силой  $P_z$ , т. к. при врезании она направлена против направления подачи стола  $s_m$ , т.е. пока центральный угол  $\psi$  небольшой [6]. Составляющая  $F_y = P_v$  будет представлять силу  $P_y$ , т. к. при врезании она направлена радиально и перпендикулярно направлению подачи.

Так как количество зубьев равно четырём ( $z = 4$ ) и  $t < d_{фр}/2$ , то одновременно в контакте с заготовкой будет находиться только один зуб, что облегчает анализ изменения сил при фрезеровании. При выходе зуба из контакта составляющая  $P_v$  будет представлять силу  $P_z$ , а составляющая  $P_h$  будет представлять силу  $P_y$ .



Рис. 10. Направление составляющих силы резания, отображающихся на мониторе динамометра Kistler, и направление подачи  $s$  (мм/мин) при встречном фрезеровании подложки концевой фрезой

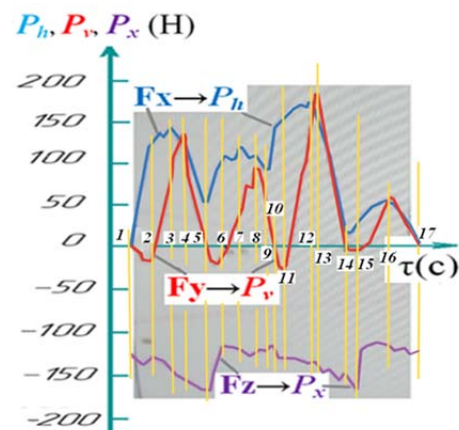


Рис. 11. Графики изменения сил при фрезеровании стали при повороте острой фрезы на один оборот. Встречное фрезерование 4-х зубой твёрдосплавной фрезой диаметром 8 мм,  $t = 3,8$  мм,  $b = 2$  мм,  $n = 500$  об/мин,  $s_m = 28$  мм/мин, Сталь 40X13 после АТ (576 НV) – твёрдый сплав

Составляющая  $P_x$  будет всегда направлена вдоль оси вращения фрезы, поэтому проблемы с изменением направления её действия не будет. Однако по торцу с заготовкой всегда будет контактировать 2 зуба, а иногда, короткое время, даже 3 зуба, т. к. пока один зуб врезается, то предыдущий по торцевой части ещё не вышел из контакта с заготовкой, а следующий уже зашёл в контакт с горизонтальной поверхностью уже обработанной поверхности заготовки. Конечно, сила на следующем зубе небольшая, т.к. он не срезает стружку. Но, тем не менее, сила  $P_x$  никогда не будет равна нулю.

### Выводы

1. Для получения изделий из прочного металла очень часто используется более дешёвый способ аддитивной технологии – наплавлением проволоки.

2. Изделия из стали, полученные аддитивной технологии, имеют более высокую твёрдость, чем полученные из прутка, т. к. происходит закаливание металла в результате быстрого охлаждения после их нагрева при наплавлении. Особенно значим этот эффект при использовании легированных сталей. Это вызывает ухудшение обрабатываемости при последующем фрезеровании заготовки.

3. Большая амплитуда изменения боковой составляющей  $P_y$  в направлении наименьшей жёсткости концевой фрезы приводит к появлению вибрации, а её, пусть и небольшое по величине, отрицательное значение усугубляет это негативное влияние.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Кравченко Е.Г. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие/ Кравченко Е.Г., Верещагина А.С., Верещагин В.Ю.. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 139 с. – ISBN 978-5-4497-1012-3. Текст электронный// Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/105704.html> (дата обращения: 18.01.2022). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – DOI: <https://doi.org/10.23682/105704>.

2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.

3. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

4. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL:<https://e.lanbook.com/book/126717> (дата обращения: 14.04.2019). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.

5. Утенков, В.М. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков / В.М. Утенков, П.А. Быков // Инженерный вестник. – 2012. – № 10. – С. 9.

6. Козлов В.Н., Петровский Е.Н., Шэ Л., Чжан Х. Особенности фрезерования образцов после аддитивного синтеза // 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.]. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – [С. 102–104].

## ОБЗОР ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛОВ МЕДЬ-СТАЛЬ

Чжан Ц.<sup>1</sup>, Козлов В.Н.<sup>2</sup>, Пань М.<sup>2</sup>, Клименов В.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21,

E-mail: cinzhun1@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОмШ,

E-mail: kovn@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, аспирант гр. А3-21,

E-mail: menhua1@tpu.ru;

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор Ом,

E-mail: klimenov@tpu.ru;

С развитием современной промышленности одному металлу или сплаву становится трудно соответствовать определенным конкретным случаям из-за ограничений присущих характеристик. Биметаллы привлекают все большее внимание благодаря сохранению преимуществ каждого и преодолению недостатков другого. Одним из них является медно-стальной сплав, который сохраняет превосходную износостойкость, коррозионную стойкость, электро- и теплопроводность меди, и высокую прочность и сравнительно невысокую стоимость стали. Такой сплав широко используется для передачи энергии и в высокотехнологичном производстве [1].

В настоящее время для приготовления биметаллов медь-сталь в основном используются порошковая металлургия, пластическая формовка, сварка [2] и 3D-печать [3].

Порошковая металлургия является стандартным методом приготовления биметаллов медь-сталь. Как правило в качестве плакирующего слоя используется порошок медного сплава, который спекается в восстановительном газе из-за окисления меди. Как один из самых передовых методов, искрово-плазменное спекание (ИПС), являющееся технологией быстрого спекания в мгновенном высокотемпературном поле, становятся все более распространенными благодаря низкой температуре спекания, высокой скорости нагрева и короткому времени спекания [4]. При изготовлении направляющей пластины в качестве ключевого направления при её формовании используется метод порошковой металлургии. Это позволяет уменьшить расход медного сплава при обеспечении износостойкости и повышении механических свойств. Медная часть обычно изготавливается из бронзы, свинцовой бронзы, алюминиевой бронзы и других материалов; стальная составляющая изготавливается из низкоуглеродистой стали [5].

Методы пластической формовки в основном включают прокатку, экструзию и волочение, механизм которых заключается в том, что соединяемые друг к другу медная и стальная пластины подвергаются пластической деформации под огромным давлением. После этого по соединительной поверхности пластины отрываются, в результате чего обнажается активированная поверхность. Высокое качество металлургического соединения достигается за счет высокого давления при прокатке [6]. Из-за механической связи на некоторых участках подготовленного сплава

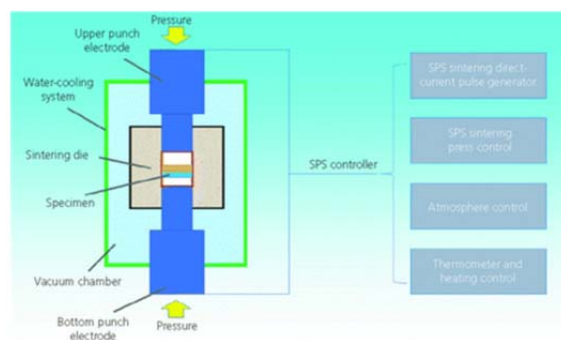


Рис. 1. Принципиальная схема метода SPS

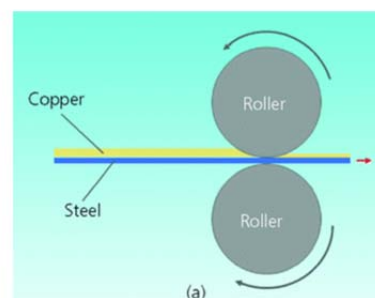


Рис. 2. Принципиальная схема метода пластической формовки прокаткой



медь-сталь после пластической формовки обычно требуется диффузионный отжиг для улучшения состояния связи на поверхности, упрочнения заготовки в процессе восстановления, рекристаллизации и устранения остаточных напряжений [7]. Температура отжига обычно находится в диапазоне 823–873 К, время выдержки около 1,5 ч [8]. Используя процесс волочения, исследователем Guo L. (Го Л.) были успешно изготовлены гильзы из биметалла гетерогенного сплава меди и стали, значительно экономящие сырье при сохранении первоначальных характеристик [9].

Литьё биметаллов гетерогенных сплавов меди и стали в основном включает в себя традиционный метод литья, метод обратного затвердевания, метод непрерывного литья/прокатки, метод литьевого преобразования и метод двойного расплавления металла [10].

Традиционный метод литья и метод обратного затвердевания относятся к твердожидкостному методу, заключающемуся в нанесении расплавленной меди к стальной форме или стальной проволоке без оксидного слоя или с гальванической медью для увеличения атомной активности на поверхности стали [11–12].

При методе непрерывного литья/прокатки выполняется прокатка после заливки расплавленного медного сплава на стальную полосу [13]. Используя метод обратной затвердевания, ученые Ю и Ван [13, 14] успешно подготовили медную проволоку со стальным сердечником, применённую в качестве проводящих проводов в электронных коммуникациях. Их исследования показывают, что толщина плакирующего слоя связана со временем выдержки стальной проволоки, а температура расплавленной медного сплава должна быть обратно пропорциональна толщине плакирующего слоя, при этом толщина плакирующего слоя будет наибольшей при тепловом равновесии на поверхности соединения [14].

Обычно, используя традиционные литые биметаллы меди и стали, изготавливают охлаждаемые планки. Метод литьевого преобразования и метод двойного расплавления металла относятся к методу жидкость-жидкость, обеспечивающий металлургическое соединение при затвердевании. При приготовлении сплавов методом литейного преобразования верхний разливочный ящик заменяют и, соответственно, выплавляют сталь и медь [15]. При использовании метода двойного расплавления металла сила Лоренца препятствует конвективному смешиванию двух расплавленных металлов [16].

Сварка в основном включает в себя сварку плавлением (дуговая сварка, лазерная сварка и электронно-лучевая сварка). К подобным методам можно отнести пайку (пайку плавлением), твердофазную сварку, такую как диффузионная сварка, сварка взрывом, сварка трением и сварка трением с перемешиванием.

Сварка плавлением обеспечивает лучшее соединение меди и стали за счет контроля состава присадочного металла и смещения лазерного и электронного лучей для предотвращения сегрегации стали, размягчения меди и образования проникающих трещин на стальной стороне.

При пайке припой на основе серебра способствует взаимной диффузии меди и железа, в который добавляют никель для улучшения смачиваемости [17]. При пайке плавлением контролируется присадочный металл и одновременно контролируется место подвода тепла.

Твердофазная сварка реализует соединение разнородных металлов путем сильной пластической деформации. Получаемые структура и механические свойства являются результатом конкуренции между наклепом и рекристаллизационным размягчением.

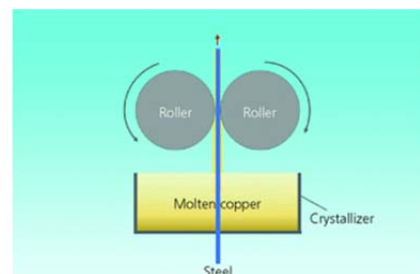


Рис. 3. Принципиальная схема метода обратной затвердевания

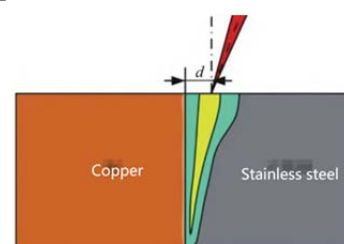


Рис. 4. Принципиальная схема лазерной плавки меди и нержавеющей стали

Целью исследований диффузионной сварки является уменьшение образования интерметаллических соединений на переходной поверхности. Целью исследований сварки взрывом является уменьшение изогнутых крупных зерен на медной стороне.

Аддитивное производство является относительно новым методом приготовления биметаллов медь-сталь. Электронные лучи, дуги и лазеры используются в качестве источников тепла для аддитивного производства биметаллов меди и стали. Соединение на переходной поверхности Cu и Fe, осажденных электронным лучом, не идеальное [18]. Хотя медь имеет высокую отражательную способность для лазера, за счет многократного лазерного сканирования также можно получить хорошую металлургическую связь и измельченные зерна [19]. Используя ввод более высокой энергии дуги, можно получить на переходной поверхности металлургическую связь с высокой прочностью, однако, соответственно, граница раздела будет сегрегирована и медные зерна станут большими. Частоту появления трещин можно снизить добавлением Ni, Al и Cr [20]; добавлением армирующих фаз, таких как наночастицы, можно подавить укрупнение зерен [21].

Биметаллы медь-сталь заменили многие материалы в различных областях благодаря отличным свойствам и относительно невысокой стоимостью. Применение аддитивного производства открывает новые возможности для оптимизации биметаллов медь-сталь. Однако при приготовлении биметаллов медь-сталь по-прежнему возникают такие проблемы, как низкая прочность металлургической связи и большие внутренние напряжения на переходной поверхности, сегрегация компонентов и множество проникающих трещин на стальной стороне.

В настоящее время необходимо глубокое исследование механизма соединения на переходной поверхности медь-сталь и оптимизировать процесс формования, тем самым улучшая условия соединения на переходной поверхности и реализуя более широкое применение биметаллов медь-сталь.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Yiran Wang, Yimin Gao, et al. Review of preparation and application of copper-steel bimetal composites. *Emerging Materials Research*. 8 (4) (2019) 538–551.
2. Du Zhengyong, Li Yuxuan, Liu Yuchun, et al. Research status of copper/steel dissimilar metal welding [J]. *Welding & Joining* 2023(9):1–23.
3. Yang Yongqiang, Jiang Menglong, Deng Cheng. Research progress of copper–steel functional materials prepared by additive manufacturing [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2023, 66(4):14–24.
4. Masahashi N, Semboshi S, Watanabe K et al. (2013) Solid-state bonding of alloy-designed Cu–Zn brass and steel associated with phase transformation by spark plasma sintering. *Journal of Materials Science* 48(17):5801–5809.
5. Zhang P, Qin J, Li X, Zhang Y and Chang Q (2012) Bonding mechanism of the high strength copper/steel bimetal interface of composite guide plate. *Special Cast and Non-ferrous Alloys* 8:768–770.
6. Lin D, Shi Q, Yu Q and Guo C (1998) Bi Metal cladding rolling process and their development. *Yunnan Metallurgy* 27.6):32–36.
7. Liu D, Liu S, Chen R and Wang X (2007) Microstructure and mechanical properties of diffusion bonding brass steel bimetal. *Transactions of Materials and Heat Treatment* 28 (1): 110–113.

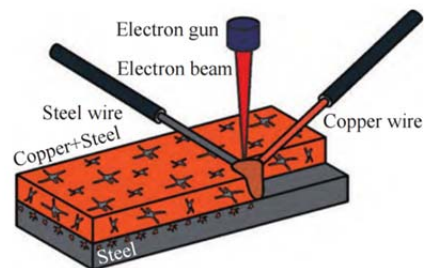


Рис. 5. Принципиальная схема аддитивного производства электронно-лучевой проволоки для функциональных материалов из меди и стали

8. Liu H, Wang J, Liu K and Zhang H (2007) Compounding techniques of cold-rolled composite steels. *Journal of Iron and Steel Research*19(8):42–45.
9. Guo L (2009) Study on forming technology of cartridge case made of bimetal Cu/Fe. *Journal of Plasticity Engineering* 16(6):45–49.
10. Wu J and Ma X (1996) Research and development of fabrication metal matrix composite by casting process. *Materials Science and Engineering*2:15–20.
11. Liu X and Shen S (2003) A study on connection mechanism of highspeed steel–carbon cast steel cast-in process. *Foundry Technology* 24(1): 67–68.
12. Pleschiutchnigg FP (1995) Inversion casting of steel strip. *Steel Time* 223(6): 228–229.
13. Wang H (2008) Bimetal composite of copper and steel continuous casting and rolling technology and equipment. *Research Studies on Foundry Equipment* 3:1–4.
14. Yu J, Wang Q, Xiao Y et al. (1999) Experimental study of inversion casting of copper clad steel. *Chinese Journal of Nonferrous Metals* 9(3):464–476.
15. He B, Wu X and Yang J (2005) Investigation of the preparation and properties of the bimetal composite by the electrocasting. *China Foundry Machinery & Technology*6:10–12.
16. Guan P, Ma Q, Hu Z and Du Y (2006) Research and application of metal casting process used for abrasion resistance parts. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery* 37(7): 174–177.
17. Kumar A, Ganesh P, Kaul R, et al. Study on requirement of nickel electroplating in OFE copper-316L stainless steel brazed joints [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 8 (9) : 639–2651.
18. Zykova A, Chumaevsky A, Vorontsov A, et al. Evolution of microstructure and properties of Fe–Cu, manufactured by electron beam additive manufacturing with subsequent friction stir processing [J]. *Materials Letters*, 2022, 307: 131023.
19. Zafari A, Xia K. Nano/Ultrafine grained immiscible Fe–Cu alloy with ultrahigh strength produced by selective laser melting [J]. *Materials Research Letters*, 2021, 9(6): 247–254.
20. Zhang M, Zhang Y L, DU M K, et al. Experimental characterization and microstructural evaluation of silicon bronze alloy steel bimetallic structures by additive manufacturing [J]. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2021, 52(10): 4664–4674.
21. Xie M, Zhou S F, Zhao S Z, et al. In-situ Fe<sub>2</sub>P reinforced bulk Cu–Fe immiscible alloy with nanotwins Cu produced by selective laser melting [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2020, 838: 155592.



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

*Исмаилов Г.М., к.т.н., доц.,  
Логвиненко Е.Е., студент гр. 1111,  
Корехова А.Р., студент гр.1111,  
Гайворонская З.В., студент гр. 1111,  
Чижик А.Е., студент гр. 1111,  
Томский государственный педагогический университет,  
634041, г. Томск, пр-т Комсомольский, 75,  
тел. 8(3822)52-29-43.  
E-mail: gmismailov@rambler.ru*

Производство кабелей является важной и неотъемлемой частью энергетической отрасли. Приведем данные по производству ассоциации кабельных изделий в странах СНГ за 2021 год по объему (в тыс. тоннах): Россия – 373,4; Белоруссия – 76,5; Казахстан – 9,1. Что касается отдельных видов кабелей, например, проводов и кабелей на напряжение не более 1 кВ в 2022 году в России было выпущено почти 4,5 млн км. Потребность в кабелях постоянно растет – за восемь месяцев 2023 года было произведено таких кабелей на 18.3 % выше, чем за этот же период 2022 года. Для развития этой отрасли промышленности необходимы новые технологии производства кабельной продукции. Целью работы, является исследование новых технологий производства кабелей и факторов, влияющих на нее.

Известно, что многие кабели, например гибкие кабели имеют небольшой срок службы. Это связано с тем, что они работают в сложных условиях и подвергаются механическим воздействиям и претерпевают деформации, что приводит к сокращению срока службы. Их надежность в первую очередь зависит от материалов, подобранных с учетом эксплуатационных условий. Поэтому одним из главных направлений в производстве кабелей является применение современных материалов. Следует отметить, в настоящее время применение новых сплавов и композитных материалов наряду с традиционными материалами позволяет повысить прочность и надежность кабельных изделий.

В последнее время активно используются инновационные материалы, такие как полимеры высокой прочности и нанотехнологии, позволяющие улучшить механические и электрические свойства кабелей. Разрабатываются проводниковые материалы, по своим свойствам в несколько раз превышающий свойство меди по механическим характеристикам и дешевле в производстве. Они создаются на основе углеродных нанотрубок. По своим свойствам они являются оптимальными материалами для изготовления силовых кабелей, для которых прочность, электропроводность и гибкость считаются параметрами надежности кабелей при эксплуатации.

Изготовление кабелей и проводов включает в себя несколько этапов: вытяжение заготовки, наложение изоляции элементов, намотка кабельных изделий в бухты. В зависимости от назначения кабеля применяют различные технологии их изготовления.

Цифровые технологии создают большой спрос на высокоскоростную передачу информационных данных и возможность дистанционного управления исполнительными устройствами. Последние достижения автоматизации и роботизации сокращают затраты на производство и повышают достигать наибольшей точности в изготовлении кабельной продукции [1].

В настоящее время компанией LS Cable & System (Южная Корея) был выпущен силовой кабель 12/20 кВ, имеющие вдуваемые оптические волокна. Конструкция кабеля содержит силовой кабель и кабель связи. Этот кабель является прорывным в создании умных и эффективных сетей и сетей связи и оказался «трендом» в электрической промышленности.

Основные производители мирового рынка Leoni Group, Prysmian Group, Nexans, General Cable, и LS Cable & System являются лидерами в технологии производства кабелей и уверенно чувствуют себя на рынке кабельной продукции. Они предлагают широкий спектр надежной кабельной продукции и являются основными поставщиками кабелей и проводов во многих странах.

В последние годы, в связи снижением доли импорта кабельной продукции, отечественные производители стали заниматься импортозамещением и успешно выпускают кабели соответствующего назначения. В процессе решения данного вопроса остро встал вопрос качества и цены кабельной продукции, производимой отечественными производителями. Однако часть производителей не выпускают продукцию, отвечающую мировым требованиям. Для выпуска продукции, отвечающей требованиям современности, необходимо усовершенствовать технологии производства и осуществлять проектирование кабелей на стадии проектирования с учетом условий эксплуатации.

На кафедре профессионального обучения, технологии и дизайна ТГПУ проводятся исследования механических и трибологических характеристик кабелей и их материалов. На протяжении нескольких лет проведены исследования гибких кабелей для передвижных машин и механизмов, электрооборудования машины нефтепогружных насосов [2,3].

Для оценки полученных результатов произведено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния гибкого кабеля КГ (кабель силовой гибкий с медными токопроводящими жилами с изоляцией и оболочкой из резины без защитных покровов (брони)) при деформациях изгиба с применением программы Ansys. По результатам исследования определены напряжения, возникающие в кабеле по длине деформации. Также проведены трибологические исследования материалов изоляции этих кабелей. Для испытаний выбрано десять кабелей с различными изоляционными материалами. В ходе испытания выявлены кабели с более износостойкими характеристиками и требуемыми прочностными характеристиками. В настоящее время на кабельных заводах выпускаются более совершенные кабели КГ с применением материалов, которые в несколько раз улучшили их эксплуатационные свойства.

Таким образом, ключевыми тенденциями развития производства современных кабельных изделий являются: применение инновационных полимерных композиционных материалов; широкое внедрение систем компьютерного проектирования и моделирования; комплексная автоматизация и роботизация; разработка принципиально новых типов кабельных изделий; повышение энергоэффективности. Внедрение этих передовых технологий позволяет выпускать инновационную конкурентоспособную продукцию, полностью отвечающую растущим требованиям всех отраслей экономики.

### **Список литературы**

1. Боев М.А. Особенности технологии производства оптических кабелей. Издательство: Инфра-Инженерия, 2024. – 56 с.
2. Ismailov G.M., 2019, Flexible cable strength with regard to tribological interaction of its elements, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 233(4). pp, 638–648.
3. Исмаилов Г.М., Мусалимов В.М., Саркисов Д.Ю., Лутовинов С.В., Окунев С.А. Устройство для испытания механической прочности изоляции и проводов и кабелей на истирание. Патент № 2422799. Оpubл. 27.06.2011.

**СЕКЦИЯ 4**  
**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**  
**В МАШИНОСТРОЕНИИ**

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ5 С ВВЕДЕННЫМ ПОРОШКОМ $ZrW_2O_8$ ПОСЛЕ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Судариков А.В.<sup>1</sup>, Колубаев Е.А.<sup>2</sup>  
НИ ТПУ, ИШНПТ, А1-48,  
E-mail: sudarikov-97@mail.ru  
НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор ОМ,  
E-mail: kolubaevea@tpu.ru

В настоящее время алюминиевые сплавы являются перспективными материалами для использования их в автомобильной, аэрокосмической и ракетной промышленности. Такая популярность обусловлена тем, что они обладают низкой плотностью, хорошей пластичностью и ударной вязкостью. Однако по сравнению с другими композиционными материалами, механические и трибологические свойства у них находятся на низком уровне. Повышение твердости и износостойкости в алюминиевых сплавах на сегодняшний день является актуальной задачей и требует дополнительных исследований.

Одним из эффективных способов локальной модификации и упрочнения поверхности материала является фрикционная перемешивающая обработка (FSP). Данным методом можно получать упрочненные композиционные поверхности с повышенными эксплуатационными характеристиками, при этом сохраняя пластичность материала основы. На рис. 1 приведена томография поверхности обработанного сплава АМг5 с порошком  $ZrW_2O_8$ . Введение в материал матрицы различных упрочняющих мелкодисперсных частиц ( $SiC$ ,  $Al_3Ti$ ,  $Al_2O_3$  и др.) приводит к увеличению механических характеристик (рис. 2) и износостойкости поверхности. В нашем случае в качестве модифицирующего компонента использовался порошок вольфрамата циркония  $ZrW_2O_8$  с отрицательным коэффициентом теплового расширения ( $KTP = -8,7 \times 10^{-6} K^{-1}$ ). В сочетании с алюминиевыми сплавами, у которых высокий КТР ( $22,4 \times 10^{-6} K^{-1}$ ), появляется возможность получать усовершенствованные композиты, демонстрирующие низкое тепловое расширение при превосходной термостабильности и проводимости.

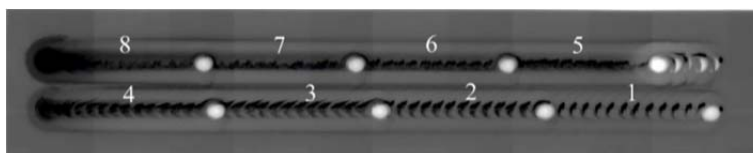


Рис. 1. Томография поверхности сплава АМг5, обработанного в восемь последовательных проходов с введенным порошком вольфрамата циркония  $ZrW_2O_8$

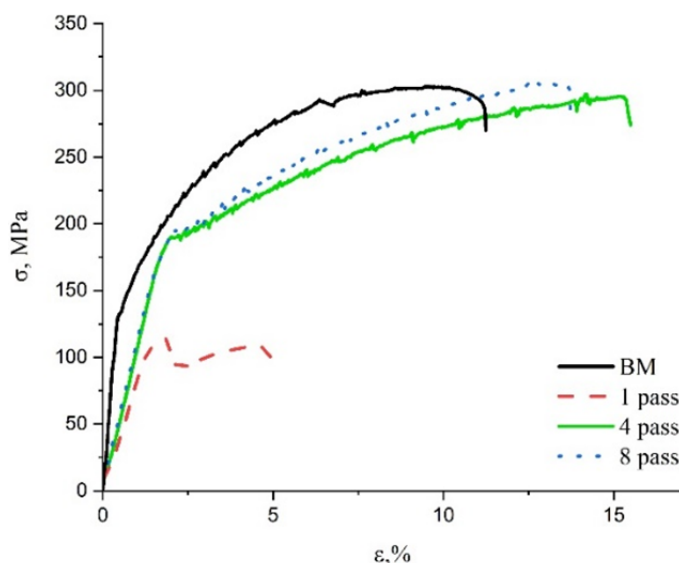


Рис. 2. Кривые напряжение-деформация, полученные в условиях статического растяжения

Для проведения статических испытаний на растяжение лопатки вырезались поперек линии обработки с захватом основного металла. Полученные результаты показывают, что после четырех последовательных проходов предел прочности увеличивается с 191 до 290 МПа, а после восьми до 313 МПа относительно предела прочности чистого АМг5.

Результаты трибологических исследований показали, что среднее значение коэффициента трения снижается в зависимости от числа проходов. Такой эффект обусловлен тем, что в процессе рекристаллизации и термомеханических превращений наблюдается образование оксидов и интерметаллидных фаз ( $ZrAl_3$ ,  $WAl_{12}$ ,  $Al_2O_3$ ) в зоне обработки. Образованные в результате температурного распада  $ZrW_2O_8$  фазы, выступая в качестве твердой смазки, позволяют снизить коэффициент трения на 30 %.

### Список литературы

1. Баджакке П.А. и соавт. Обработка трением с перемешиванием: новый метод инженерии поверхности // Инженерия поверхности современных материалов. – Спрингер, Чам, 2020. – С. 1–31.
2. Чумаевский А. В. и соавт. Закономерности деформации, фрагментации и пластического течения в монокристаллах меди М1 при фрикционной перемешивающей сварке и сухом трении // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии. – 2021. – С. 331.
3. Шадрин В.С., Кульков С.Н. Исследование формирования интерметаллидов в алюминии при его спекании с вольфраматом циркония // Перспективные материалы. – 2016. – № 11. – С. 48–54.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ

*Жужгина Т.А.<sup>1</sup>, Вологжанина С.А.<sup>2</sup>, Скутин В.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
студент магистратуры гр. МНММ-22,*

*E-mail: zhyzhginata@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
профессор каф. МТХИ, д.т.н.*

<sup>3</sup>*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», начальник сектора, к.т.н.*

Объектом исследования является сварное соединение мартенситной стали марки 10Х9МФБ со сталью перлитного класса марки 10Х2М. Основной проблемой сварки этих сталей является разница в температурах послесварочных отпусков. В соответствии с требованиями НП-104-18 температура обязательного послесварочного отпуска сварных соединений из стали марки 10Х9МФБ составляет  $(760 \pm 10)^\circ\text{C}$ , тогда как для стали марки 10Х2М всего  $(710 \pm 20)^\circ\text{C}$  [1].

Для решения указанной задачи можно выполнить предварительную наплавку электродами марки Н-6 на сталь мартенситного класса с более высокой температурой отпуска. Чтобы выровнять свойства зоны термического влияния этой стали наплавка должна быть подвергнута отпуску по режиму  $760 \pm 10^\circ\text{C}$ . На следующем этапе работы необходимо было оценить возможность использования электродов Н-6 для сварного соединения, что и для выполнения предварительной наплавки. Для этого сварное соединение стали 10Х2М с предварительной наплавкой на сталь 10Х9МФБ выполнялось ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, с последующим отпуском при температуре, соответствующей, отпуску сварных соединений стали 10Х2М  $(710 \pm 20)^\circ\text{C}$ .

В ходе проведения экспериментальных работ была выполнена серия наплавленных проб ручным дуговым способом сварки покрытыми электродами, где значение силы сварочного тока составляло 90, 110 и 130 А. Для каждого значения силы сварочного тока и диаметра электрода были изготовлены по два образца, не подвергавшиеся термообработке, по сечению которых были выполнены замеры твердости  $HV_3$  [2].

Результаты измерений твердости представлены в таблице 1. Анализ твердости в зоне термического влияния наплавок, выполненных при пониженной величине силы сварочного тока (90 А) и при повышенной силе сварочного тока (110 А) показал, что уменьшение тепловложения в металл ЗТВ не привело к значимому снижению твердости в околошовном участке. Следовательно, уменьшение силы сварочного тока в исследованных пределах не оказало существенного влияния на процессы закалки в ЗТВ исследованной стали. Однако использование пониженной величины силы сварочного тока повышает вероятность появления недопустимых дефектов типа несплавлений.

Таблица 1

*Значение твердости исходных образцов с наплавкой без термообработки*

Режимы наплавки		Твердость, HV		
		min	сред.	max
90 А	Середина валика	204, 209	280, 298	386, 394
	Перекрытие валиков	200, 207	290, 289	397, 379
110 А	Середина валика	194, 213	280, 308	401, 420
	Перекрытие валиков	198, 208	298, 299	388, 407

При проведении серии послесварочных термообработок темплетов из стали 10Х9МФБ с предварительной наплавкой, где температура отпуска варьировалась от 720 до 770  $^\circ\text{C}$ , установлено, что снижение твердости в околошовной зоне мартенситной

стали происходит уже при температуре отпуска 720 °С (рис. 1). Дальнейшее повышение температуры послесварочного отпуска если и приводит к снижению твердости, то незначительному. Особенно это касается зоны термического влияния стали 10Х9МФБ.

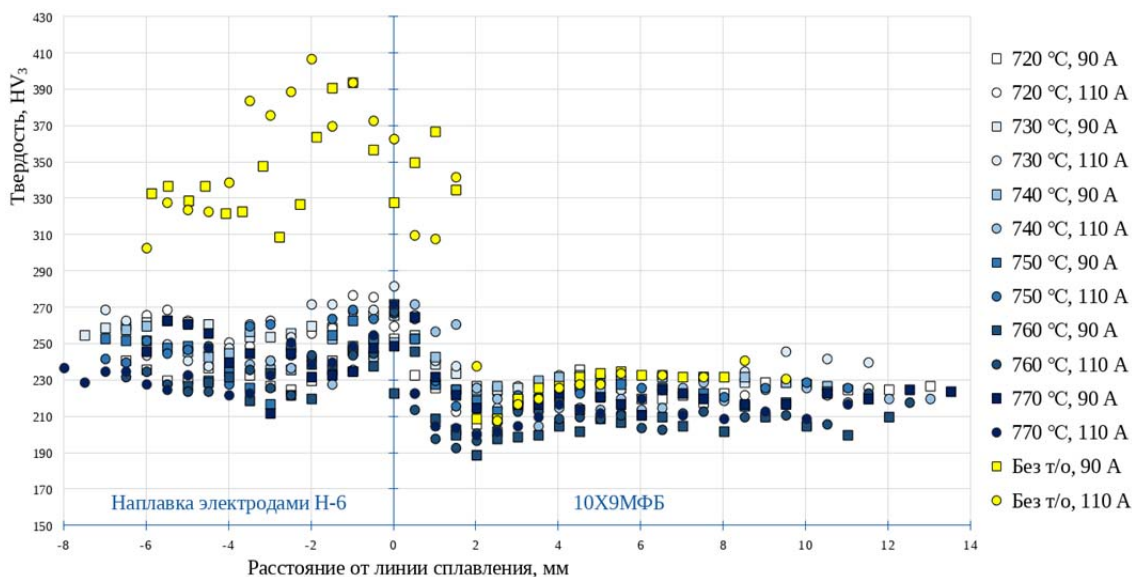


Рис. 1. Сравнительный график твердости образцов с наплавкой без термообработки и с использованием послесварочных отпусков

При исследовании химического состава металла наплавленных темплетов, подвергнутых послесварочному отпуску при температуре в 760 °С, было выделено несколько зон с целью изучения влияния перемешивания металла предварительной наплавки с основным металлом стали марки 10Х9МФБ на содержание основных химических элементов в верхнем, среднем и нижнем валике наплавки, в ЗТВ и в основном металле. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Массовые доли химических элементов темплетов из стали марки 10Х9МФБ (масс. %)

Химический элемент	Зона исследования химического состава				
	Верхний валик	Средний валик	Нижний валик (у линии сплавления)	ЗТВ	Основной металл
I = 90 А, T <sub>отп.</sub> = 760 °С					
Si	0,51	0,49	0,5	0,34	0,28
V	0,25	0,21	0,19	0,2	0,16
Cr	1,54	2,22	2,7	9,25	9,43
Mn	0,87	0,9	0,9	0,79	0,7
Fe	96,21	95,38	94,94	88,46	88,51
Mo	0,61	0,79	0,77	0,96	0,92
I = 110 А, T <sub>отп.</sub> = 760 °С					
Si	0,46	0,49	0,48	0,34	0,39
V	0,22	0,21	0,15	0,24	0,22
Cr	2,13	2,73	4,49	9,21	9,35
Mn	0,75	0,73	0,85	0,72	0,74
Fe	95,68	95,09	93,26	88,65	88,5
Mo	0,75	0,74	0,78	0,84	0,8
I = 130 А, T <sub>отп.</sub> = 760 °С					
Si	0,58	0,59	0,59	0,35	0,32
V	0,25	0,15	0,17	0,31	0,24
Cr	1,81	2,28	4,49	9,3	9,43
Mn	0,78	0,71	0,84	0,59	0,69
Fe	95,92	95,61	93,18	88,73	88,57
Mo	0,66	0,65	0,73	0,73	0,75



На рис. 2 представлен график изменения содержания хрома в зависимости от используемой технологии выполнения предварительной наплавки, который показывает, что при значении силы сварочного тока 110 А обеспечивается наиболее равномерное перемешивание металла наплавки с основным металлом стали марки 10Х9МФБ. Это позволяет произвести рациональный и обоснованный выбор сварочного режима предварительной наплавки на сталь 10Х9МФБ.

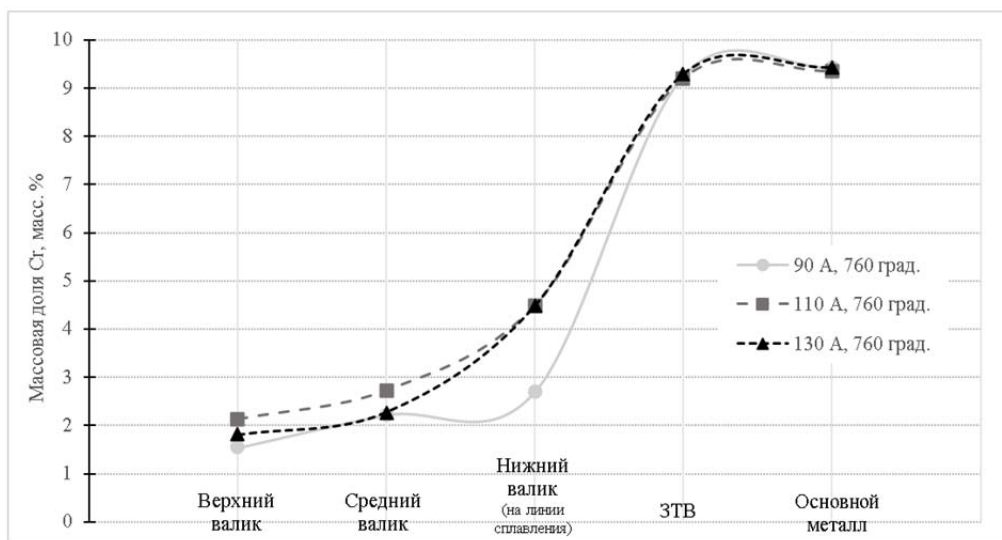


Рис. 2. Содержание Cr в темплетях из стали марки 10Х9МФБ

Далее, выполнялись сварные соединения стали 10Х9МФБ и стали 10Х2М ручной дуговой сваркой покрытыми электродами марки Н-6 диаметром 4 мм. При этом предварительная наплавка на одной пробе подвергалась отпуску при температуре 740 °С, а на другой 760 °С, температура послесварочного отпуска выполненных сварных соединений составила 710 °С. Продолжительность послесварочного отпуска предварительных наплавки и сварных соединений не отличалась и составила 5 ч.

Измерения твердости проводились на двух образцах вдоль сварного шва и в трех выбранных зонах (с каждого края и в центре образца). В результате обработки измерений, построен график изменения твердости (рис. 3), который показывает, что проведение послесварочного отпуска зоны термического влияния стали марки 10Х9МФБ, обеспечило выравнивание параметров ее твердости по сравнению с твердостью основного металла, не подвергнутого термическому влиянию сварки [3].

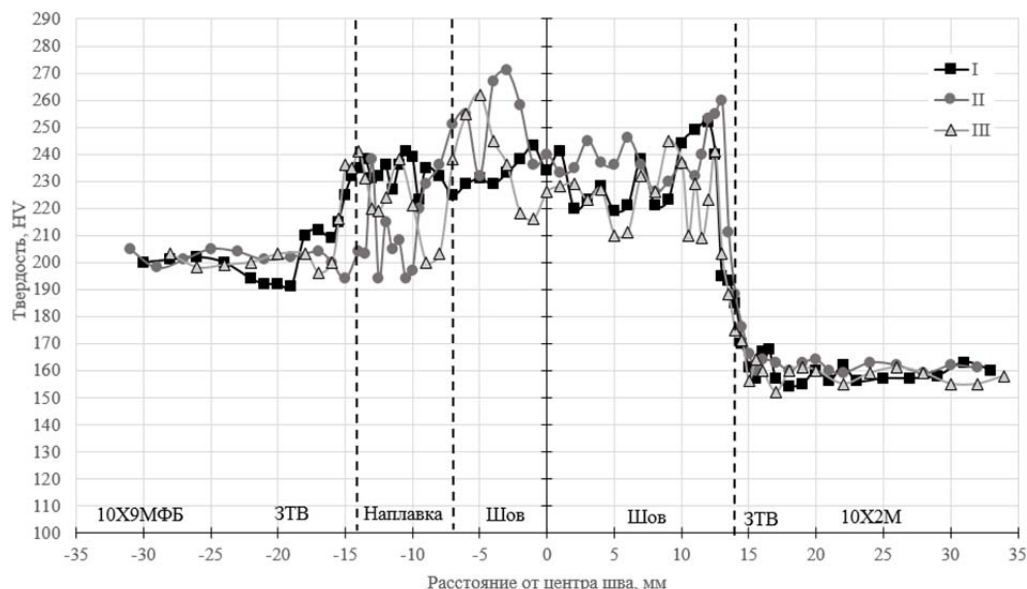


Рис. 3. График изменения твердости сварного соединения сталей марок 10Х9МФБ и 10Х2М

На основании проведенных испытаний установлено следующее. Наиболее равномерное перемешивание металла наплавки с основным металлом стали марки 10Х9МФБ обеспечено при величине силы сварочного тока 110 А. Electroды марки Н-6 могут эффективно использоваться как для выполнения предварительной наплавки на сталь марки 10Х9МФБ, так и для выполнения шва сварного соединения стали 10Х9МФБ со сталью 10Х2М. Высокая отпускостойчивость металла наплавки, выполненной электродами марки Н-6 подтверждается незначительным снижением его твердости при увеличении температуры отпуска.

#### **Список литературы**

1. НП-104-18. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Москва. – 2019. – 248 с. – URL: <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/НП-104-18/НП-104-18.pdf>.
2. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Государственный стандарт союза ССР. – Москва. – 1976. – 31 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004651>.
3. Dietzel W. Stress Corrosion Cracking in Metals // Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition) – 2005. – P. 1–8. – URL: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01597-7>.

## ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ СКАНИРОВАНИЯ НА АМОРФИЗАЦИЮ ЖЕЛЕНОГО СПЛАВА В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Ерутин Д.П.<sup>1\*</sup>, Попович А.А.<sup>2</sup>, Суфияров В.Ш.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Институт машиностроения, материалов и транспорта, инженер  
E-mail: erutin@inbox.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Институт машиностроения, материалов и транспорта, директор института  
E-mail: director@immet.spbstu.ru;

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Институт машиностроения, материалов и транспорта, доцент  
E-mail: vadim.spbstu@yandex.ru

### Аннотация

В работе представлены результаты исследования образцов, полученных в процессе селективного лазерного плавления аморфного порошкового сплава на основе железа KUAMET 6B2 при использовании стратегий сканирования порошкового слоя, различающихся по порядку сканирования. С помощью дифференциальной сканирующей калориметрии были получены данные о степени аморфизации образцов, на основании которых был сделан вывод о влиянии порядка сканирования на аморфизацию исследованного сплава. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего исследования и разработки технологии получения магнитомягких аморфно-нанокристаллических материалов на основе железа с помощью селективного лазерного плавления.

*Ключевые слова:* аморфный сплав, селективное лазерное плавление, аморфная фаза, аддитивные технологии, аморфный материал, стратегия сканирования.

### Введение

Аморфные материалы представляют из себя твердые материалы, в которых отсутствует дальний порядок в расположении атомов [1]. Подобное состояние структуры материала достигается за счет сверхбыстрого охлаждения расплава, приводящего к фиксации исходных положений атомов. Отсутствие дальнего атомного порядка приводит к отсутствию в структуре аморфного материала дефектов кристаллического строения, являющихся причиной анизотропии его конструкционных и функциональных свойств. Благодаря данным особенностям структуры аморфные сплавы обладают повышенной прочностью, коррозионной стойкостью и электрическим сопротивлением.

Так, за счет своих превосходных магнитомягких свойств широкое распространение в области электротехнического машиностроения получили аморфные сплавы на основе железа [2, 3], получаемые в промышленном масштабе в виде порошка и тонкой ленты и используемые в качестве материала магнитопроводящих элементов трансформаторов и электрических двигателей. Однако, существующие технологии получения данного класса металлических материалов имеют ограничения по геометрии и размерам получаемого изделия, что не позволяет с их помощью производить объемные аморфные изделия без применения сборочных операций [4–5].

На данный момент одним из наиболее актуальных научных направлений, связанных с аморфными металлическими материалами, является получение объемных аморфных и аморфно-нанокристаллических изделий с помощью технологии селективного лазерного плавления, в процессе применения которой происходит послойное наращивание конечного изделия за счет расплавления наносимого на подложку порошкового материала. Малая толщина слоя материала (20–60 мкм), наносимого на рабочую платформу, обуславливает возможность достижения скорости охлаждения расплава до 108 К/с, что позволяет получать объемные изделия, содержащие аморфную фазу.

Целью данной работы является исследование влияния порядка сканирования слоя порошкового аморфного сплава KUAMET 6B2 на степень аморфизации образцов, полученных в процессе селективного лазерного плавления.

### Материалы и методы исследования

Исходный материал представляет собой порошок аморфного сплава на основе железа KUAMET6B2. Химический состав исходного материала представлен в табл. 1. Частицы порошкового материала характеризуются сферической формой и средним размером 22,9 мкм.

Таблица 1

*Химический состав исходного материала (мас. %)*

Материал	C, %	Si, %	Cr, %	B, %	Fe, %
KUAMET 6B2	0,76	6,80	2,52	2,48	Ост.

Температурные интервалы фазовых превращений порошков изучали с использованием дифференциального сканирующего калориметра (ДСК) Q2000 (TA Instruments). Исследуемые образцы нагревались в потоке аргона до температуры 1000 °С со скоростью нагрева 20 °С/мин, после чего охлаждались и нагревались вторично при тех же условиях.

Экспериментальные образцы были получены на базе системы селективного лазерного плавления 3DLAM Mid. В качестве защитной атмосферы рабочей камеры системы был использован азот.

### Результаты и обсуждение

В рамках проведенного эксперимента были получены объемные образцы, имеющие форму эллиптической призмы 5×10×5 мм. Наборы параметров процесса селективного лазерного плавления (мощность лазера  $P$ , скорость сканирования  $V$ , расстояние между проходами  $h$ , толщина слоя материала  $t$ , порядок сканирования  $n$ ), определенные в ходе предварительного трек-исследования и использованные для получения образцов, представлены в табл. 2. Число  $n$ , обозначенное порядком сканирования, характеризует последовательность выполнения линейных проходов лазерного луча следующим образом: в первую очередь выполняются проход с порядковым номером  $n$  и другие проходы, порядковый номер которых отличается от номера предыдущего прохода на  $n$ , затем в аналогичной последовательности выполняются проходы с номером на единицу меньше и так далее до полного завершения сканирования. Таким образом, при  $n$ , равном единице, происходит последовательное выполнение проходов одного за другим, а при  $n$ , равном трем, сначала выполняется каждый третий проход, а затем – каждый второй и оставшиеся.

Таблица 2

*Использованные наборы параметров процесса селективного лазерного плавления*

Номер режима	$P$ , Вт	$V$ , мм/с	$h$ , мм	$t$ , мм	$n$
1	65	750	0,05	0,02	1
2	65	950	0,05	0,02	1
3	65	1150	0,05	0,02	1
4	65	750	0,05	0,02	3
5	65	950	0,05	0,02	3
6	65	1150	0,05	0,02	3
7	65	750	0,05	0,02	4
8	65	950	0,05	0,02	4
9	65	1150	0,05	0,02	4

Полученные образцы были исследованы методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Данные об энтальпии кристаллизации аморфной фазы и степени аморфизации исходного материала и полученных образцов представлены в табл. 3.

Графики зависимостей степени аморфизации от порядка сканирования при различных скоростях сканирования приведены на рис. 1.

Таблица 3

*Энтальпии кристаллизации аморфной фазы ( $H_a$ ) и степени аморфизации ( $A$ ) исходного материала и полученных образцов*

Образец	$H_a$ , Дж/г	$A$ , %
Порошок	111,780	100,00
1	8,941	7,99
2	26,360	23,58
3	31,360	28,05
4	37,530	25,57
5	41,800	37,40
6	54,270	48,55
7	33,480	29,95
8	50,320	45,02
9	55,780	49,90

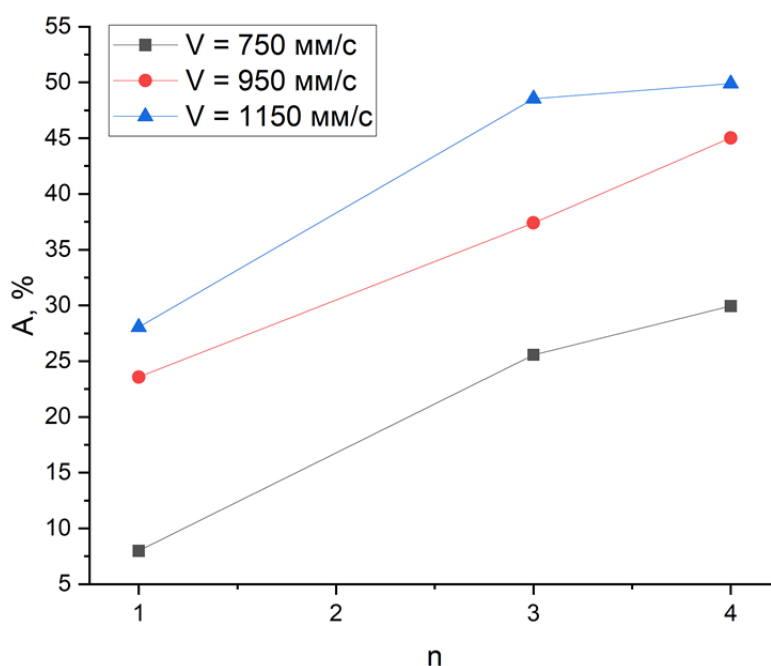


Рис. 1. Зависимости степени аморфизации от порядка сканирования, полученные при различных скоростях сканирования

Характер полученных экспериментальных зависимостей позволяет сделать вывод об увеличении степени аморфизации материала при увеличении порядка сканирования.

В процессе селективного лазерного плавления на степень аморфизации материала заданного химического состава влияют скорость охлаждения расплава и распределение температурного поля в процессе вторичного нагрева, происходящего за счет выполнения проходов лазерного луча на определенном расстоянии от консолидированного материала. Увеличение порядка сканирования не может приводить к уменьшению влияния вторичного нагрева, поскольку при любом порядке сканирования затвердевший металл в области выполненного прохода будет нагрет за счет выполнения соседнего прохода лазерного луча. Однако, увеличение порядка сканирования позволяет уменьшить влияние температурного поля соседнего прохода на скорость охлаждения только что отсканированной области материала.

При малом продольном сечении получаемого образца выполнение проходов лазерного луча одного за другим происходит достаточно быстро для того, чтобы тепловой поток, исходящий от области выполняемого прохода, мог замедлить охлаждение предыдущего прохода. Таким образом, увеличение порядка сканирования позволяет уменьшить

влияние данного эффекта на охлаждение материала в высокотемпературном состоянии, что приводит к образованию большего количества аморфной фазы в его объеме.

### **Заключение**

В рамках данной работы были получены данные о влиянии порядка сканирования на степень аморфизации аморфного сплава на основе железа KUAMET 6B2 в процессе селективного лазерного плавления. Анализ экспериментальных данных позволил установить, что степень аморфизации материала увеличивается с увеличением порядка сканирования. В рассматриваемых условиях малого продольного сечения образца данное явление связано с уменьшением влияния температурного поля соседнего прохода лазерного луча на охлаждение материала выполненного прохода за счет увеличения расстояния между ними.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10008, <https://rscf.ru/project/21-73-10008>.

### **Список литературы**

1. Sufiiarov V.; Erutin D.; Kantyukov A.; Borisov E.; Popovich A.; Nazarov D. Structure, Mechanical and Magnetic Properties of Selective Laser Melted Fe-Si-B Alloy. Mater. 2022, № 15, 4121.
2. Erutin D.; Borisov E.; Popovich A.; Sufiiarov V. Magnetic anisotropy of a selective laser melted Fe-Si-B alloy. J. Phys. Conf. Ser. 2022, № 2361.
3. Kumar G; Tang H.X; Schroers J. Nanomoulding with amorphous metals. Nature 2009, № 457, 868–872.
4. Schroers J. Processing of bulk metallic glass, Adv. Mater. 2010, № 22, 1566–1597.
5. Schroers J; Paton, N. Amorphous metal alloys form like plastics. Adv. Mater. Process. 2006, № 164, 61–63.

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ФТОРИДА МАГНИЯ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ

*Шевченко И.Н., аспирант гр. А1-48,*

*Хуан Фули, аспирант гр. А1-53,*

*Деулина Д.Е.: аспирант гр. А3-49,*

*Пайгин В.Д., к.т.н., научный сотрудник НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»,*

*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: ins16@mail.ru*

В работе методом электроимпульсного плазменного спекания была изготовлена керамика на основе алюмомагниево-шпинели с добавкой фторида магния в количестве от 0,1 до 1 мас. %. Изучено влияние фторида магния на динамику линейной усадки алюмомагниево-шпинели при электроимпульсном плазменном спекании. Относительная плотность полученных образцов керамики достигает 99,4 %.

**Ключевые слова:** керамика, электроимпульсное плазменное спекание, алюмомагниево-шпинель, фторид магния.

Прозрачная керамика на основе алюмомагниево-шпинели ( $MgAl_2O_4$ , MAS) один из перспективных оптических материалов. Большая часть исследований посвящена разработке методов получения прозрачного материала, использование которого возможно в аэрокосмической и военной промышленности (прозрачная броня, инфракрасные обтекатели для ракет и т. д.). В последние годы из керамики такого состава изготавливают элементы оптики космических телескопов, выводные окна ультрафиолетовых и инфракрасных лазерных устройств, элементы пассивной оптики, работающей в экстремальных условиях. Относительно широкий спектр применения такой керамики обусловлен уникальным сочетанием физико-механических и оптических свойств алюмомагниево-шпинели [1, 2].

Для изготовления MAS-керамики используют различные методы консолидации, перспективным среди которых является электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС). Этот метод обеспечивает сохранение исходного фазового состава, структуры и высокую плотность консолидируемых материалов, близкую или равную теоретической. В отличие от свободного спекания и горячего прессования, ЭИПС позволяет получать прозрачную керамику за относительно короткий промежуток времени [3, 4].

Одной из проблем, возникающих при ЭИПС прозрачной керамики, является загрязнение спекаемого материала углеродом, возникающего из-за использования графитовой оснастки.

Для решения этой проблемы используют различные спекающие добавки, например оксид бора ( $B_2O_3$ ) фторид лития (LiF) или фторид магния ( $MgF_2$ ) [5–7], которые позволяют устранить или существенно снизить степень загрязнения. В последние годы, все большее внимание уделяется исследованиям добавки  $MgF_2$  [8].

Целью настоящей работы является изучение влияния фторида магния на процесс электроимпульсного плазменного спекания прозрачной керамики на основе алюмомагниево-шпинели.

В качестве исходных материалов использовали нанопорошки алюмомагниево-шпинели (SC30R, Baikowski Malakoff Inc., США) и фторида магния (Институт общей физики имени А.М. Прохорова РАН, Россия). Концентрация порошка фторида магния варьировалась от 0,1 до 1 мас. %.

Смешивание проводили в изопропиловом спирте с использованием шаровой мельницы в течение 48 часов. После перемешивания полученную суспензию сушили при температуре 70 °С в течение 12 часов до полного испарения влаги.



Консолидацию осуществляли методом ЭИПС на установке SPS-515S (SPS SYNTEX INC, Япония). Процесс спекания проводили в вакууме ( $10^{-3}$  Па) при температуре 1300 °С под давлением статической подпрессовки 100 МПа, продолжительность изотермической выдержки на заданной температуре спекания составила 15 мин.

Плотность образцов определяли геометрическим методом. Относительную плотность рассчитывали по формуле:

$$\rho_{\text{отн}} = \rho_{\text{эксп}} / \rho_{\text{теор}} \cdot 100\%,$$

где  $\rho_{\text{отн}}$  – относительная плотность, %;  $\rho_{\text{эксп}}$  – расчетная плотность, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{теор}}$  – теоретическая плотность, г/см<sup>3</sup>.

ЭИПС всех образцов проводили в одинаковых режимах. На рис. 1 представлена кривая изменения линейных размеров образцов MAS-керамики в процессе ЭИПС-спекания до температуры 1300 °С, на которых видно, что термическая усадка под давлением статической подпрессовки 100 МПа, начинающаяся в диапазоне температур 600–959 °С, где изменение линейных размеров образца, обусловленное термическим расширением материала начинает компенсироваться процессами консолидации материала. После 959 °С процессы спекания преобладают над процессами термического расширения, вплоть до температуры 1231 °С, сопровождающаяся понижением пористости, ростом и консолидацией зёрен. В диапазоне температур 1110–1231 °С понижение интенсивности интенсивность усадки, обусловлено уменьшением скорости нагрева до 10 °С/мин в диапазоне температур от 1100 до 1300 °С. После температуры 1300 °С, по достижению температуры изотермической выдержки, усадка практически прекращается.

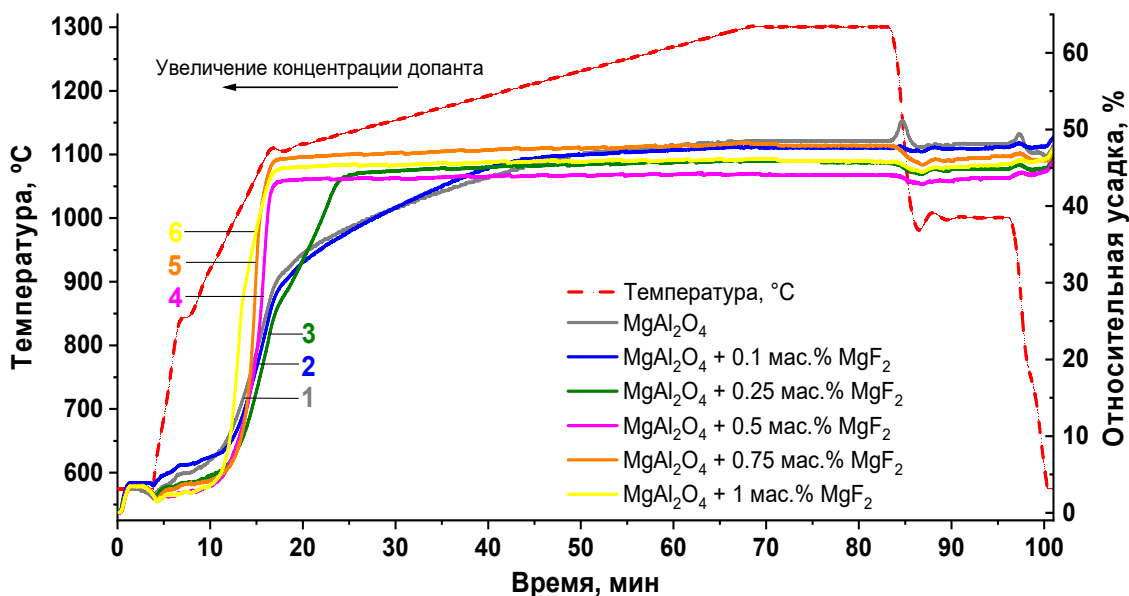


Рис. 1. Динамика относительной усадки образцов при электроимпульсном плазменном спекании до температуры 1300 °С: 1 – MAS, 2 – MAS: 0,1 мас. % MgF<sub>2</sub>, 3 – MAS: 0,25 мас. % MgF<sub>2</sub>, 4 – MAS: 0,5 мас. % MgF<sub>2</sub>, 5 – MAS: 0,75 мас. % MgF<sub>2</sub>, 6 – MAS: 1 мас. % MgF<sub>2</sub>

В присутствии MgF<sub>2</sub> наблюдается тенденция к смещению температуры окончания интенсивной усадки в область меньших температур. Изменения температуры начала интенсивной усадки не выходят за пределы погрешности измерения температуры.

Для образцов с добавкой MgF<sub>2</sub> в количестве от 0,5 мас. % до 1 мас. % наблюдается увеличение скорости усадки и понижение температуры окончания интенсивной усадки более чем на 100 °С.

Характерные температуры спекания, относительная плотность и величина относительной усадки исследуемых образцов керамики представлены в табл. 1.

Температура начала и окончания интенсивной усадки керамик  
в процессе спекания и значения относительной плотности

Состав	T <sub>начальная</sub> , °C	T <sub>конечная</sub> , °C	Усадка <sub>отн.</sub> , %	$\rho_{отн.}$ , %
1 – MAS	959	1231	47	97,5±0,5
2 – MAS: 0,1 мас. % MgF <sub>2</sub>	978	1214	49	99,4±0,5
3 – MAS: 0,25 мас. % MgF <sub>2</sub>	968	1143	46	97,6±0,5
4 – MAS: 0,5 мас. % MgF <sub>2</sub>	969	1100	46	97,6±0,5
5 – MAS: 0,75 мас. % MgF <sub>2</sub>	973	1100	47	97,4±0,5
6 – MAS: 1 мас. % MgF <sub>2</sub>	957	1100	48	98,9±0,5

Значения относительной усадки для образцов коррелируют с рассчитанными значениями относительной плотности для каждого образца (табл. 1). Наибольшую плотность (99,4±0,5 %) и величину относительной усадки (49 %) демонстрирует образец с 0,1 мас. % MgF<sub>2</sub>.

В результате проделанной работы продемонстрирована возможность изготовления алюмомагниевого шпинели с добавкой фторида магния 0,1–1 мас. %. Показано, что состав с 0,1 мас. % содержанием фторида магния позволяет получать образцы с относительной плотностью до 100 %. Добавка MgF<sub>2</sub> в концентрации 0,5–1 мас. % увеличивает интенсивной спекания, снижая температуру окончания усадки до 1110 °C.

Работа выполнено при поддержке проекта РФФ № 23-73-01241 на оборудовании ЦКП НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» Национального исследовательского Томского политехнического университета, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику ИОФ РАН, к.х.н. Кузнецову С.В. за предоставленный порошок MgF<sub>2</sub>.

### 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<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 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<sub>2</sub>) – 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.

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ $Ti_3AlC_2-Cu$ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКСТРУЗИИ МАТЕРИАЛОВ

Афанасьев А.О.<sup>1</sup>, Криницын М.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, Россия, Томск

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, Томск

E-mail: aoa14@tpu.ru

Аддитивные технологии в последнее время пользуются популярностью и развитие производства в данном направлении являются актуальным. Несмотря на то, что аддитивные технологии развиваются достаточно долгое время, есть области, которые слабо изучены. Одной из таких проблем является недостаточное исследование в формировании композиционных материалов на основе МАХ-фаз в области аддитивного производства. Из-за особенностей структуры и свойств данного материала, делают успехи в этом направлении методы с низкой энергией. Для нашей работы мы используем метод экструзии материала, который также является методом с низкой энергией.

Целью нашей работы является изучение особенностей формирования композиционных материалов  $Ti_3AlC_2-Cu$  методом аддитивного производства на основе экструзии материалов (МЕАМ).

Сырьем для данного метода являются наполненные полимеры (фидстоки). В данной работе использовались фидстоки, наполненные смесью порошков МАХ-фазы  $Ti_3AlC_2$  и меди. В фидстоках использовались различные соотношения порошок / полимер, а в порошковых смесях варьировалось соотношение между компонентами. В качестве полимера использовался коммерческий полимер МС2163. Фидсток был получен перемешивание путем экструзии материала.

Образцы, полученные из данных фидстоков, были напечатаны методом МЕАМ, с последующим удалением полимерного связующего в 2 этапа. Первым этапом является удаление полимерного связующего с применением растворителя. Зависимость содержания полимера от времени дебиндинга представлена на рис. 1. Остаток полимера удаляется спеканием в высокотемпературной вакуумной печи.

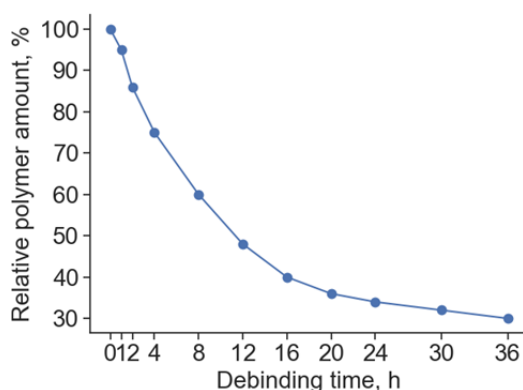


Рис. 1. Влияние продолжительности дебиндинга на содержание полимера в образце

Для полученных образцов были проведены рентгеноструктурный анализ, исследование микроструктуры образцов при помощи сканирующей электронной микроскопии (SEM); были проведены измерения твердости, прочности на изгиб, электропроводности. Для фидстока были проведены измерения показателя текучести (ПТР).

Исследования образцов позволили установить зависимости роста твердости и электропроводности образцов. В ходе работы было выявлено зависимость повышения твердости и электропроводности с увеличением температуры, при которой были спечены образцы. Наивысшее значения были получены при спекании образцов при 1050 °С. Макси-

мальное значение электропроводности достигало до 75 % от электропроводности чистой меди. Максимальное напряжение, которое было получено при исследовании образцов на прочность на изгиб, составляет 101 МПа.

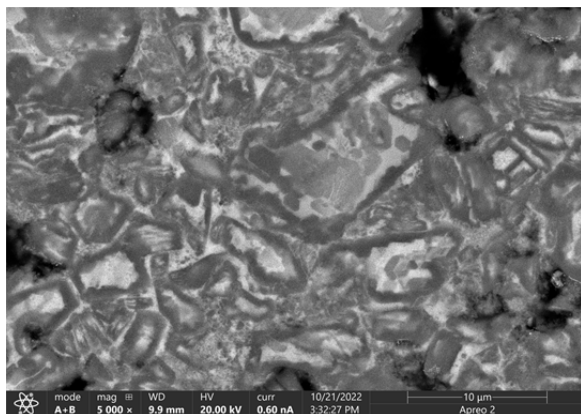


Рис. 2.1. Микроструктура образцов, полученных с применением микроразмерного порошка меди

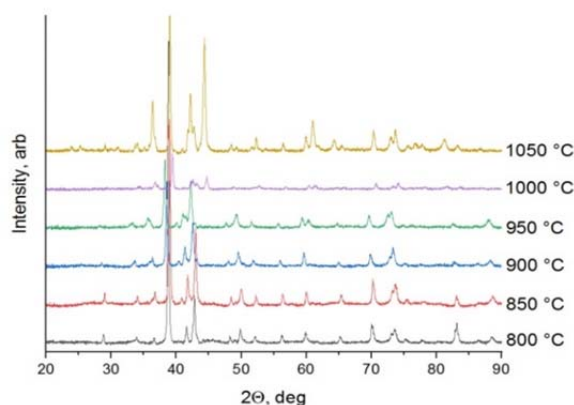


Рис. 2.2. Рентгенограммы образцов после спекания на разных температурах

В целом формируется структура, соответствующая металломатричному композиту – частицы или агломераты частиц МАХ-фаз находятся в медной матрице. Температура плавления меди составляет 1085 °С, поэтому при приближении к этой температуре спекание интенсифицируется. Кроме того, может сказываться наличие наночастиц меди, температура плавления которых ниже микронных материалов. На это указывает наличие следов присутствия жидкой фазы во время спекания в некоторых образцах, спеченных при 1000 °С. Однако потеря массы образцов не наблюдается. Спекание выше температуры плавления приводит к вытеканию меди из материала – частичному или полному. В связи с этим оптимальным является проведение спекания при температуре не выше 1050 °С.

Присутствие следов распада МАХ-фазы является неизбежным при высокотемпературном спекании образцов. Рентгенофазовый анализ показывает (рис. 2.2), что вплоть до температуры 900 °С в образце присутствует МАХ-фаза в количестве, достаточном для обнаружения методом XRD. При дальнейшем увеличении температуры МАХ-фаза на рентгенограммах отсутствует. При этом рентгенограмма образца с микронным порошком показывает отсутствие МАХ-фазы уже на 1000 °С, что подтверждает данные, полученные по SEM снимкам (рис. 2.1).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых № МК-209.2022.4.

### Список литературы

1. Zhuo P. et al. Material extrusion additive manufacturing of continuous fibre reinforced polymer matrix composites: A review and outlook // *Composites Part B: Engineering*. – 2021. – Vol. 224. – No. 109143.
2. Zhou W. et al. In situ synthesis, mechanical and cyclic oxidation properties of  $Ti_3AlC_2/Al_2O_3$  composites // *Advances in Applied Ceramics*. – 2018. – Vol. 117. – No. 6. – P. 340–346.
3. Tan Q. et al. Recent progress in additive manufacturing of bulk MAX phase components: A review // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2022. – Vol. 131. – P. 30–47.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВ МАГНИТОМЯГКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ РАСПЫЛЕНИЕМ РАСПЛАВА

*Борисов А.Н.<sup>1</sup>, Ерутин Д.П.<sup>2</sup>, Попович А.А.<sup>3</sup>, Суфияров В.Ш.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, инженер,*

E-mail: borisov\_an@spbstu.ru;

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, инженер,*

E-mail: erutin@inbox.ru;

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, директор института,*

E-mail: director@immet.spbstu.ru;

<sup>4</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, доцент,*

E-mail: vadim.spbstu@yandex.ru

## **Аннотация**

В работе представлены результаты исследований физико-технологических и магнитных свойств, фазового состава и термодинамических характеристик кристаллизации аморфных порошков на основе кобальта 84КХСР и 86КГСР, изготовленных газовой атомизацией. Получены данные о гранулометрическом составе, текучести, насыпной плотности порошков, фазовом составе, температурных интервалах и энтальпии кристаллизации аморфной фазы, а также значения коэрцитивной силы и намагниченности насыщения.

**Ключевые слова:** порошковая металлургия, газовая атомизация, аморфный сплав, магнитные свойства, аддитивное производство.

## **Введение**

Одно из наиболее актуальных направлений использования 3D-печати в данный момент – это создание объемных аморфных магнитомягких сплавов с помощью селективного лазерного плавления (СЛП) [1]. Аморфные материалы – это твердые вещества, в которых атомы не имеют упорядоченного кристаллического расположения [2]. Для получения такого состояния материала необходимо быстро охладить его из жидкого состояния, что приводит к фиксации атомов в позициях, которые они занимали в расплавленном состоянии [3]. Аморфные металлические материалы, или металлические стекла, не имеют кристаллической структуры, что исключает наличие внутренних дефектов и анизотропии свойств, типичных для кристаллических материалов [4]. Благодаря этим особенностям, аморфные сплавы обладают повышенной прочностью, коррозионной стойкостью и электрическим сопротивлением [5].

В процессе селективного лазерного плавления слой порошкового материала толщиной 20–100 мкм наносится на металлическую подложку [6]. Лазер проплавляет слой порошка, после чего наносится следующий слой на уже затвердевший материал. Свойства исходного порошка в значительной степени влияют на качество и конечные свойства изделий, полученных при селективном лазерном плавлении [7]. Таким образом, изучение металлических порошков, используемых в дальнейшем для производства методом селективного лазерного плавления, представляет собой важную задачу для исследования [8].

Целью данной работы было исследование физико-технологических и магнитных свойств, фазового состава и характеристик фазовых превращений порошков магнитомягких сплавов на основе кобальта 84КХСР и 86КГСР.

## **Методы исследования**

Измерение текучести порошков проводилось согласно стандарту ISO 4490 «Метод определения текучести металлических порошков с помощью воронки Холла». Измерение насыпной плотности проводилось согласно ГОСТ 19440-94. В воронку засыпался поро-

шок, который, стекая, заполнял мерную емкость с объемом 25 см<sup>3</sup>. Насыпная плотность определялась отношением массы порошка к мерному объему.

Гранулометрический состав порошков определялся методом лазерной дифракции на установке Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch, Germany). Морфологию частиц исследовали с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira3.

Кинетику кристаллизации аморфных порошков изучали с использованием дифференциального сканирующего калориметра (ДСК) Q2000 (TA Instruments). Фазовый состав анализировали с помощью рентгеновского дифрактометра (XRD) Bruker D8 Advance с использованием CuK $\alpha$ -облучения (1 1/4 1,5418 Å).

Измерения зависимостей намагниченности образцов от величины приложенного магнитного поля проводились на вибрационном магнитометре LakeShore VSM 7410 (Lake Shore Cryotronics, Inc. США) при 24 °С в интервале полей от –18000 до 18000 Эрстед.

### Результаты и обсуждение

Морфология исследуемых порошков представлена на рис. 1. Оба порошка имеют преимущественно сферическую форму частиц и характеризуются наличием дефектов поверхности в виде сателлитов и панцирей, характерных для порошков, полученных методом газовой атомизацией расплава [8]. Химические составы рассматриваемых порошковых материалов, измеренные методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии представлены в табл. 1.

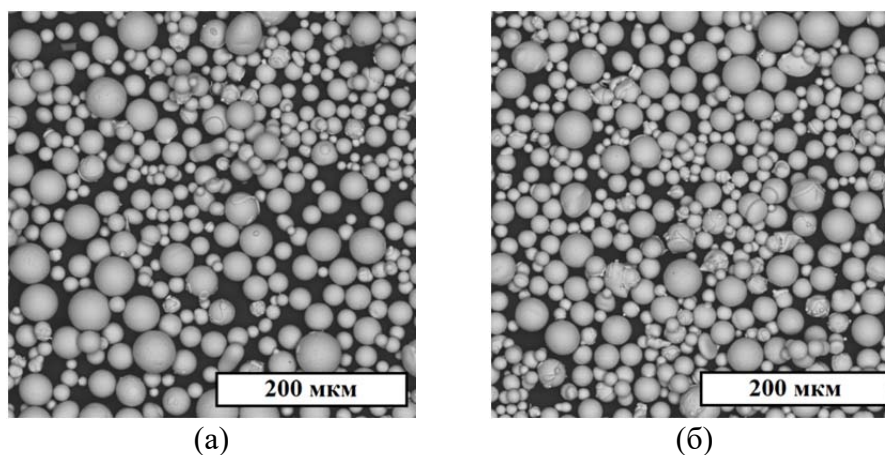


Рис. 1. СЭМ-изображения морфологии частиц порошков 84КХСР (а) и 86КГСР (б)

Таблица 1

Химический состав порошков

Порошок	Si, вес. %	Cr, вес. %	Mn, вес. %	Fe, вес. %	Co, вес. %
84КХСР	2,88	0,36	3,11	3,07	Ост.
86КГСР	8,07	4,80	–	4,63	Ост.

Результаты измерения гранулометрического состава порошков представлены в табл. 2. Полученные размеры и морфология частиц соответствуют практике применения порошковых материалов в процессе селективного лазерного плавления.

Таблица 2

Результаты измерения гранулометрического состава порошков

Порошок	d <sub>10</sub> , мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм
84КХСР	14,8	26,9	45,6
86КГСР	14,5	26,2	44,4

Измерения технологических свойств порошков показали, что оба исследуемых порошка не обладают способностью свободного протекания через воронку Холла, что может быть связано с присутствием влаги в материале. Определенная насыпная плотность составила 4,40 г/см<sup>3</sup> для порошка сплава 84КХСР и 4,48 г/см<sup>3</sup> для 86КГСР.



Фазовый состав порошков был исследован с помощью рентгеноструктурного анализа (рис. 2). Дифракционные картины исследуемых порошков содержат пики кристаллических фаз. В результате первичного исследования установлено, что фазовый состав порошка 84КХСР характеризуется наличием карбидной фазы  $Fe_2C$ , кристаллического кобальта, бориды железа  $Fe_2B$ , а также смеси железо–хром, а фазовый состав порошка 86КГСР характеризуется наличием кристаллических фаз железа, кобальта и бориды железа  $Fe_2B$ .

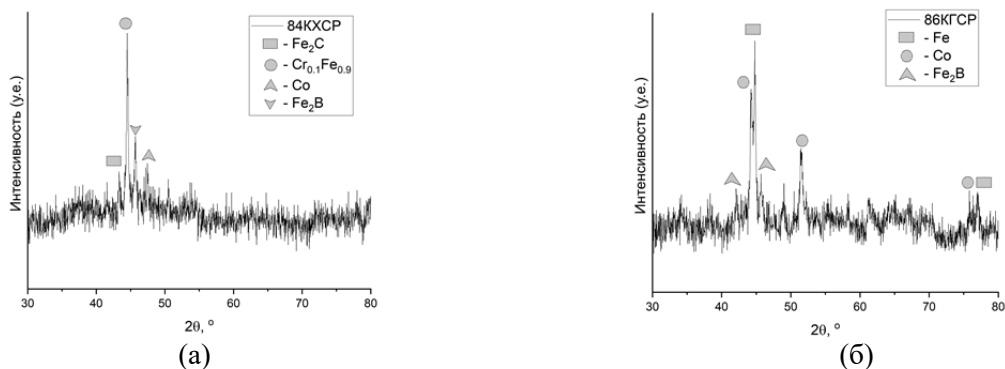


Рис. 2. Дифрактограммы порошков 84КХСР (а) и 86КГСР (б)

На рис. 3 представлены результаты исследования порошковых материалов методом ДСК. На каждой кривой наблюдаются пики, свидетельствующие о фазовых превращениях при нагреве и связанные с кристаллизацией аморфной фазы. Кристаллизация аморфной фазы каждого из порошков проходит последовательно в два этапа, о чем свидетельствуют кривые на рис. 3, а, б, каждая из которых характеризуется двумя пиками.

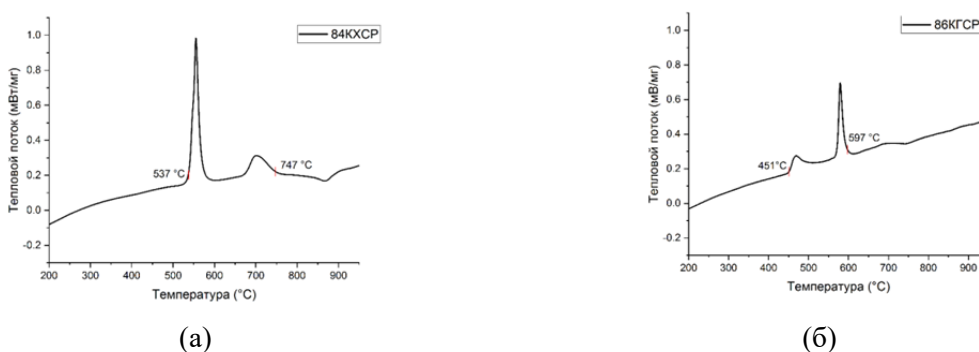


Рис. 3. ДСК-кривые нагрева порошков 84КХСР (а) и 86КГСР (б)

Температурные интервалы кристаллизации аморфной фазы при нагреве и величины энтальпии кристаллизации аморфной фазы представлены в табл. 3. Температуры начала кристаллизации позволят в дальнейшем определить, какая фаза кристаллизуется в первую очередь, что поможет в случае ее обнаружения в образцах скорректировать параметры процесса селективного лазерного плавления таким образом, чтобы температура в зоне термического влияния не превышала температуру начала кристаллизации обнаруженной первичной фазы. При реализации данных мер образование кристаллической фазы будет свидетельствовать о недостаточной скорости охлаждения.

Таблица 3

*Характеристики кристаллизации аморфной фазы в исследованных порошках*

Порошок	$T_{Н2}$ , °C	$T_{К2}$ , °C	$\Delta H_{c2}$ , Дж/г
84КХСР	537	747	58,30
86КГСР	451	597	26,01

Кривые намагничивания и магнитные свойства порошков представлены на рисунке 4 и в табл. 4 соответственно. Исследованные порошки относятся к магнитомягким, поскольку они намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магнитных полях напряженностью до 4 кА/м.



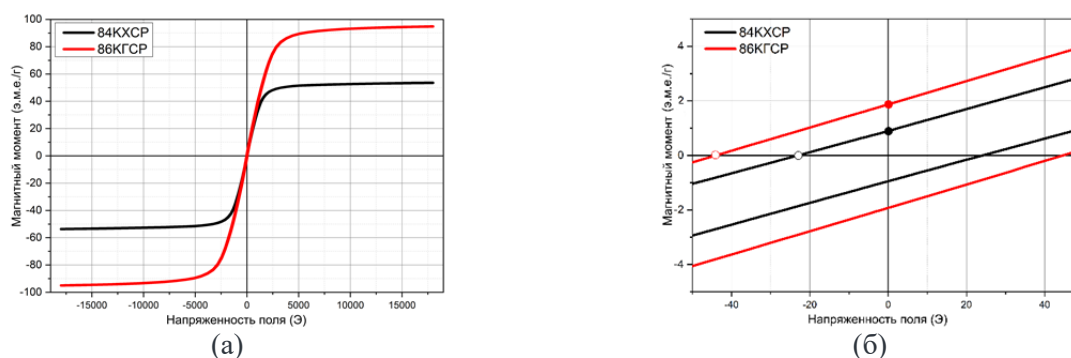


Рис. 4. График намагниченности насыщения (а),  
увеличение центральной области графика намагниченности насыщения (б)

Таблица 4

Магнитные свойства исследованных порошков

Порошок	Коэрцитивная сила, Э	Намагниченность насыщения, э.м.е./г	Остаточная намагниченность, э.м.е./г
84КХСР	23	53,6	0,89
86КГСР	44	94,8	1,87

### Заклучение

Физико-технологические свойства исследованных порошков соответствуют практике использования аналогичных порошковых материалов в процессе СЛП. Фазовый состав порошка 84КХСР характеризуется наличием карбидной фазы  $Fe_2C$ , кристаллического кобальта, борида железа  $Fe_2B$ , а также смеси железо-хром, а фазовый состав порошка 86КГСР характеризуется наличием кристаллических фаз железа, кобальта и борида железа  $Fe_2B$ . Кристаллизация аморфной фазы происходит в порошке 84КХСР в интервале температур 537–747 °С, а в порошке 86КГСР – в интервале температур 451–597 °С. Порошок 86КГСР имеет более высокие величины намагниченности насыщения и коэрцитивной силы, что связано, вероятно, с его химическим составом. Планируется провести исследования по применению данных порошковых материалов в технологии СЛП и изучению формирующихся механических, магнитных свойств и микроструктуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10008, <https://rscf.ru/en/project/21-73-10008>.

### Список литературы

1. Lamichhane T. N. et al. Additive manufacturing of soft magnets for electrical machines –a review // *Mater. Today Phys.* –2020. – Vol. 15, P. 100255.
2. Herzer G. Modern soft magnets: Amorphous and nanocrystalline materials // *Acta Mater.* – 2013. – Vol. 61, № 3, P. 718–734.
3. Qiao J. C. et al. Structural heterogeneities and mechanical behavior of amorphous alloys // *Prog. Mater. Sci.* –2019. – Vol. 104, P. 250–329.
4. Kuji C. et al. Evaluation of fracture properties of annealed Fe-Si-B-Cr amorphous alloys using micro-tensile tests and blanking machinability // *Mater. Sci. Eng. A* –2022. – Vol. 848, P. 143483.
5. Taghvaei A.H. et al. Microstructure and magnetic properties of amorphous/nanocrystalline Co 40Fe 22Ta 8B 30 alloy produced by mechanical alloying // *Mater. Chem. Phys.* –2012. – Vol. 134, № 2–3, P. 1214–1224.
6. Sufiiarov V. et al. Structure, Mechanical and Magnetic Properties of Selective Laser Melted Fe-Si-B Alloy // *Materials.* –2022. – Vol. 15, № 12.
7. Erutin D. et al. Selective Laser Melting of (Fe-Si-B)/Cu Composite: Structure and Magnetic Properties Study // *Metals.* –2023. – Vol. 13, № 2, P. 428.
8. Golod V.M., Sufiiarov V.S. The evolution of structural and chemical heterogeneity during rapid solidification at gas atomization // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* –2017. – Vol. 192, № 1, P.012009.

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

*Агапова В.И., бакалавр, Петкова А.П., д.т.н., проф.  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
199106, г. Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., д. 2  
E-mail: agapova.work@mail.ru*

Применение композитных материалов в нефтегазовом оборудовании может быть экономически целесообразным по сравнению с применением традиционных материалов.

Традиционными материалами для систем сбора нефти и газа являются трубы из углеродистой и легированной стали. Однако, в настоящее время многие месторождения содержат высокий процент сероводорода и углекислого газа, создавая крайне агрессивную среду. Из-за отсутствия существенных антикоррозионных свойств, углеродистые стальные трубы, которые наиболее часто используются, имеют срок эксплуатации не более двух лет на промыслах с высоким содержанием сероводорода.

Среди всех имеющихся марок сталей, которые устойчивы к коррозии, сможет надежно защитить от коррозии только сталь, которая содержит 13 % хрома. Однако, такие стальные трубы имеют значительно более высокую стоимость по сравнению с обычными стальными. В дополнение, они могут также иметь в своём химическом составе дефицитные дорогие элементы, такие как никель. Высокохромистые стали также склонны к хрупкости при пониженных температурах.

Стальные трубы чаще всего изготавливаются по ГОСТ 632-80. [2]

В табл. 1 представлены физико-механические свойства материалов, применяемых для обсадных труб [3].

Таблица 1

*Физико-механические свойства материалов для обсадных труб*

Физико-механические характеристики	Базальтопластик	Стеклопластик	Сталь	Алюминий
Плотность (г/м <sup>3</sup> )	1,5–2,0	1,6–2,0	7,8	2,8
Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	280	227	410–480	90–430
Удельная прочность, МПа/(г/м <sup>3</sup> )	160	126	57	93
Модуль упругости, ГПа	70	21–41	210	70
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	0,25	0,25–0,3	46	140–190

Сталь обладает высокой прочностью и рабочим давлением, а также достаточной надежностью.

Помимо своих преимуществ сталь обладает и определенными недостатками [3]: подверженность коррозии, необходимость в легировании или применении ингибиторов коррозии; большой вес, накладывающий ограничения на максимальную глубину скважин; уменьшение внутреннего сечения за счет образования асфальтопарафиновых отложений; разрушение материала блуждающими токами из-за электропроводности стали; большой вес колонны из стальных труб, ограничивающий глубину скважин и увеличивающий сложность установочных работ; ограниченный срок службы стальных труб в средах с высоким содержанием сероводорода.

Обсадные бесшовные стальные трубы используются в безмуфтовом исполнении с наружной высадкой концов, к резьбовым соединениям предъявляются требования герметичности соединений.

Из алюминиевых сплавов основными материалами для труб являются марки Д16Т, 1953Т и АК4-1Т1.

Алюминиевые сплавы обладают рядом преимуществ: легкий вес, высокая стойкость к коррозии и отсутствие магнитных свойств. Однако у них есть недостатки, такие как более высокая стоимость по сравнению со сталью, низкая температура эксплуатации и нестойкость в кислотных средах. Важно отметить, что трубы из алюминиевых сплавов имеют безмуфтовое исполнение с наружной высадкой концов, что требует особой герметичности.

Композитные материалы из стеклопластика и базальтопластика могут быть применены на нефтегазовых сооружениях в качестве легких и коррозионностойких альтернатив стандартным стальным конструкциям. Они обладают высокой стойкостью к агрессивным средам, низкой теплопроводностью, не электропроводны, радиопрозрачны. Кроме того, стекловолоконные трубы отличаются простотой монтажа и эксплуатации, так как в 4–5 раз легче стальных труб.

К недостаткам композитных труб относятся: рабочая температура до 150 °С, определяемая связующим; подверженность абразивному износу. По мере истирания внутренних стенок композитных труб могут оголяться и обламываться волокна. Это может приводить к загрязнению ими транспортируемой среды.

Резьбовые соединения на композитных трубах выполняются типа «ниппель-раструб» с резьбой «EUE 8rd API Long» и соответствуют требованиям «API 5B». Резьба соответствует размерам и профилю треугольной резьбы металлических насосно-компрессорных труб с шагом 8 ниток на дюйм согласно ГОСТ 632-80 и ГОСТ 633-80 для совместимости стеклопластиковых с металлическими трубами [4].

Композитные стекло-базальтопластиковые трубы отвечают следующим требованиям: максимальная глубина – 3000 м; условный внутренний диаметр труб – 50, 63, 76, 100, 150, 200 мм (уменьшается с увеличением рабочего давления); максимальное рабочее давление – 27,6 МПа; коэффициент запаса прочности по герметичности – не менее 2,3; рабочие температуры от –60 до +150 °С; максимальная длина труб – до 9120 мм. В табл. 2 приведены эксплуатационные характеристики стекло-базальтопластиковых труб в зависимости от диаметра [4].

Таблица 2

*Разновидности стекло-базальтопластиковых труб*

Внутренний диаметр, мм	Номинальное давление, МПа	Минимальная толщина стенки, мм	Масса погонного метра, кг
50	10,3–27,6	2,79–8,10	1,2–3,1
63	8,6–27,6	2,80–9,90	1,4–5,2
100	5,5–27,6	2,80–16,00	2,3–12,8
150	5,5–13,8	4,57–11,20	5,1–12,2
200	5,5–13,8	5,84–14,70	8,6–22,6

В таблице 3 приведены результаты расчета технико-экономических показателей композитных труб для обсадных колонн при глубине скважины 3000 м, максимальном рабочем давлении 27,6 МПа, обеспечиваемом при внутреннем диаметре труб 100 мм и толщине стенки 16 мм. [4] Из-за склонности к зарастанию асфальтопарафиновыми отложениями диаметр стальных труб в процессе эксплуатации уменьшается на 20–25 %. При применении композитных труб на их гладкой внутренней поверхности асфальтопарафиновые отложения не возникают, поэтому можно использовать трубы меньшего диаметра по сравнению со стальными (табл. 3).

Опыт «Татнефть» [5] показал, что при уменьшении диаметра скважины появляется возможность строительства большого числа скважин на удалении друг от друга в 150 м, при таком сооружении скважин формируется уплотненная сетка. По их профессиональному опыту, бурение скважин небольшого диаметра в отличие от традиционных скважин позволяет в среднем сокращать расходы на 50 %. (табл. 3). Кроме того, использование стекло- и базальтопластиковых труб существенно снижает материалоемкость и стоимость обсадных колонн при сохранении глубины извлечения нефти и среднесуточного дебита скважин.

*Экономическая эффективность композитных обсадных колонн*

Материал	Сталь	СБПТ
Глубина скважины, м	3000	
Дебит скважины, м <sup>3</sup> /сутки	100	
Диаметр скважины, мм	215,9	146
Диаметр трубы, мм	146,1	100
Толщина стенки, мм	10,7	16
Вес погонного метра, кг/м	35	12,8
Масса колонны, тонн	107,1	38
Стоимость погонного метра, руб./м	2975	1800
Стоимость труб колонны, млн. руб.	8,925	5,4

Уплотненная сетка скважин повышает эффективность разработки трудноизвлекаемых отложений, позволяя увеличивать коэффициент извлечения нефти.

За счет меньшего веса стеклопластиковых труб по сравнению со стальными, возможно существенно сократить затраты на транспортировку и уменьшить требования к спуско-подъемному оборудованию, что в свою очередь значительно снижает трудоемкость работ. Кроме того, композитные трубы облегчают доставку на труднодоступные территории.

Одним из главных преимуществ композитных труб является их стойкость к коррозии. Они не требуют затрат на ингибиторы коррозии и не образуют АСП отложения на своих стенках, благодаря чему почти не нуждаются в ремонте и обслуживании. Соответственно, данные трубы обладают долгим сроком службы, соответствующим 20–50 годам.

Композитные материалы также могут быть спроектированы с учетом специальных характеристик, таких как теплоизоляция или защита от огня, что позволяет адаптировать их к конкретным условиям и задачам. [1]

Таким образом, использование композитных материалов позволяет упростить и улучшить качество работ, а также повысить эксплуатационный ресурс скважин и снизить аварийность из-за износа и коррозии. В связи с этим, передовые нефтегазовые компании стремятся к использованию композитных материалов вместо традиционных металлов и сплавов.

### Список литературы

1. Jeremy C. Price The «State of the Art» In Composite Material Development And Applications For the Oil And Gas Industry // The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. – 2002. – № ISOPE-I-02-408.
2. ГОСТ 632-80 Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия. М.: Стандартинформ, [2010]. – 51 с.
3. Композитные НКТ и ОТ // Родные Берега URL: <http://www.rosbereg.ru/> композитные-нкт-и-от/ (дата обращения: 14.09.2023).
4. НКТ и обсадные трубы // Завод «ЗСТ Казахстан» URL: <https://zst.ru/products/nkt/> (дата обращения: 17.09.2023).
5. Татнефть развивает технологии ОРД для скважин с малым диаметром // Деловой журнал «Neftegaz.RU» URL: <https://neftegaz.ru/news/companies/257615-tatneft-razvivaet-tehnologii-ord-dlya-skvazhin-s-malym-diametrom/> (дата обращения: 14.09.2023).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ЛИСТОВЫХ РЕССОР В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

*Гильманова А.А., Набережночелнинский институт  
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», магистрант  
РФ, РТ, г. Набережные Челны, ПАО «КАМАЗ», ведущий инженер-конструктор  
E-mail: GilmanovaAA@kamaz.ru;*

*Орлянский В.Е., Набережночелнинский институт  
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», магистрант,  
РФ, РТ, г. Набережные Челны, ПАО «КАМАЗ», начальник конструкторского отдела,  
E-mail: Vladimir.Orlyanskiy@kamaz.ru;*

*Лузгин С.В., ПАО «КАМАЗ», ведущий инженер-конструктор  
E-mail: Luzgin.SV@kamaz.ru;*

*Валиахметова Д.Р., ПАО «КАМАЗ», начальник лаборатории металловедения  
E-mail: Dina.Valiahmetova@kamaz.ru*

### **Аннотация**

Металлические листовые рессоры остаются наиболее распространенным типом упругого элемента, применяемым на коммерческом автомобильном транспорте. Выполняя одновременно с функциями упругого элемента задачи направляющего аппарата системы подрессоривания данное изделие напрямую влияет на активную безопасность. В случаях применения двухлистовых рессор разрушение коренного листа рессоры ведет к потере управляемости, устойчивости автомобиля, а также лишает его возможности полноценно воспринимать реактивные силы и моменты при маневрировании и торможении.

Выполнены исследования образцов листов рессор грузового автомобиля, прошедших предварительно испытания на циклическую усталость.

В результате исследования выявлены отличия в микроструктуре образцов материалов от четырех изготовителей, проведена аналитическая зависимость между микроструктурой, ее свойствами и циклической долговечностью.

Выводы могут быть использованы при проектировании новых изделий, а также для модернизации, уже выпускаемой заводами-изготовителями продукции.

**Ключевые слова:** Микроструктура, микротвердость, обезуглероженный слой, поверхностные дефекты, конструкторско-технологическое проектирование.

### **Введение**

Наличие поверхностных дефектов на поверхности и включений в структуре металлов, а также изменения химического состава сплавов по толщине детали влияют на циклическую долговечность изделий, предназначенных для автомобильного транспорта. При проектировании новых изделий специалистами конструкторских отделов должны учитываться как общая твердость разрабатываемого изделия, так и ее изменение по толщине, особенно, близким к внешним границам.

### **Цель работы**

Выявить требуемые структуры и свойства материала, и их изменения по толщине изделия.

### **Результаты работы**

В работе рассматривались образцы листовых рессор, полученных от четырех поставщиков. Все образцы изготовлены из полосы металла марки 50ХГФА ГОСТ 14959–2016 с последующей ее обкаткой валками для придания требуемой геометрии и термической обработкой для придания заданных механических свойств и снятия напряжений. В результате изготовления рессор на поверхности деталей присутствует обезуглероженный слой, который наследу-



ется от проката и тепловых методов обработки при изготовлении изделия. Толщина обезуглероженного слоя для каждого из образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Толщина обезуглероженного слоя

	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Толщина обезуглероженного слоя, мм	0,2 мм	0,43 мм	0,16 мм	0,074 мм

На рис. 1 приведена микроструктура материалов в поперечном сечении листа рессоры.

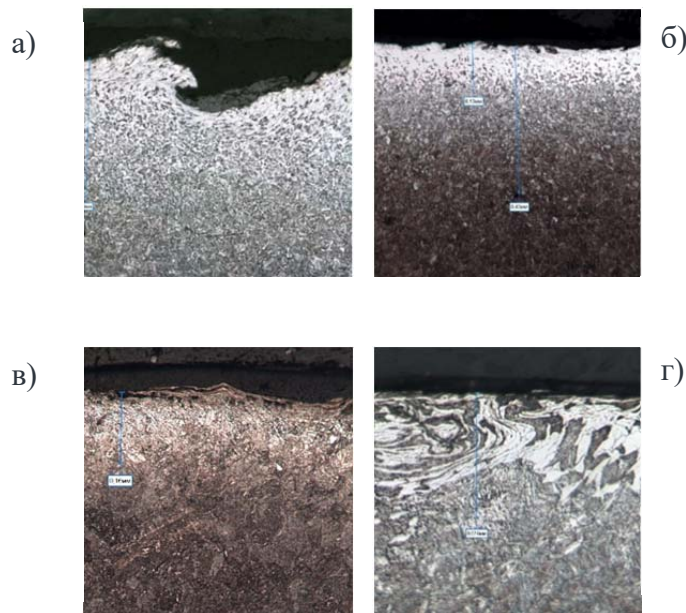


Рис. 1. Микроструктура материала листовых рессор. Образец 1 (а), образец 2 (б), образец 3 (в), образец 4 (г)

Кроме отличий в толщине обезуглероженного слоя у образцов № 1 и № 2 выявлены включения окалины и иных поверхностных дефектов, изображенных на рис. 2 и 3.

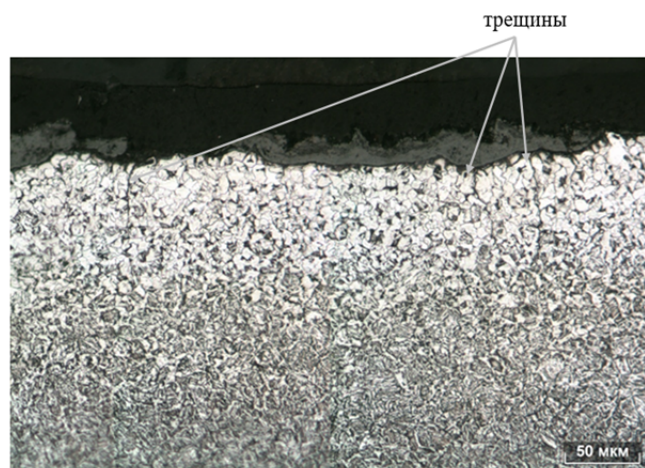


Рис. 2. Трещины на внутренней (вогнутой) поверхности с образца № 1, x 350

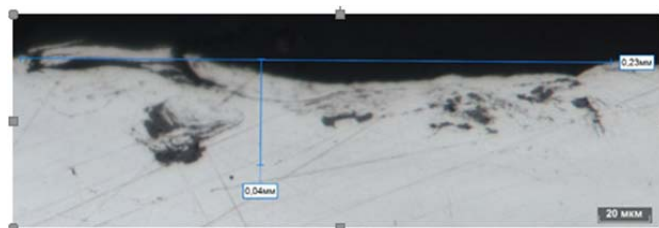


Рис. 3. Вкатанная окалина на вогнутой поверхности детали, x 500

При проведении анализа свойств приграничных слоев были выполнены замеры микротвердости образцов на глубину до 5 мм.

Изменение микротвердости по сечению рессор представлено на рис. 4.



Рис. 4. Изменение микротвердости по сечению рессор

Видно, что микротвердость образцов №№ 1, 2 и 4 на небольшой глубине (до 0,4 мм) имеют значения много меньше, чем в сердцевине. Наиболее ярко это выражено у образца № 1. Твердость металла основы детали составляет  $460 \pm 10$  HV0.05, в то время как на поверхности она составляет 214 HV0.05. Однако у образца №3 твердость практически идентична по всему сечению и составляет  $400 \pm 20$  HV0.05.

Следует отметить, что глубина обезуглероженного слоя у образцов № 1 и № 3 сопоставима (0,2 мм и 0,16 мм). Можно сделать заключение, что при изготовлении листов рессоры №3 были подобраны такие условия дробенаклепа, которые позволили нейтрализовать обезуглероженный слой.

Циклическая наработка до разрушения листов рессоры при стендовых испытаниях составила:

- образец № 1 – 83 тыс. циклов;
- образец № 2 – 76 тыс. циклов;
- образец № 3 – 430 тыс. циклов;
- образец № 4 – 380 тыс. циклов.

### Вывод

На усталостную прочность листовых рессор большое влияние оказывает неравномерность распределение микротвердости материала по сечению, глубина обезуглероженного слоя, а также наличие поверхностных дефектов. Для увеличения усталостной прочности образцов № 1 и № 2 необходимо нейтрализация негативного влияния обезуглероженного слоя с помощью поверхностного упрочнения – наклепа, а также исключить внедрение в поверхность металла посторонних включений (например, окалины) и избежать присутствие концентраторов напряжений в виде микротрещин.

### Список литературы

1. ГОСТ 14959-2016. Металлопродукция и рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия / Москва: Стандартинформ, 2017. – 32 с.
2. Патент на полезную модель № 217098 от 16.03.2023, Устройство для измерения интенсивности дробенаклепа поверхности металлоизделий.
3. ГОСТ 33556-2015 Рессоры листовые автомобильных транспортных средств. Технические требования и методы испытаний/ Москва: Стандартинформ, 2016. – 23 с.
4. ГОСТ 5640-2020. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры проката стального плоского/ Москва: Стандартинформ, 2021. – 27 с.



# ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

Данилов Д.М.<sup>1</sup>, Никитина Л.П.<sup>2</sup>, Тимофеева Е.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

Эксплуатация различного класса техники, узлов и механизмов не обходится без резинотехнических изделий (РТИ), к которым предъявляются особые требования. В условиях Сибири и Крайнего Севера РТИ должны сохранять эксплуатационные характеристики на длительный период при продолжительном воздействии низких температур (до  $-50^{\circ}\text{C}$ ). Одним из перспективных нанодобавок в полимерном материаловедении, являются углеродные нанотрубки (УНТ). Наномодификаторы, в том числе УНТ, способны повышать основные эксплуатационные характеристики эластомерных материалов за счет образования дополнительных слабых физических связей между макромолекулами каучука, технического углерода (ТУ) и УНТ.

В работе представлены результаты исследований влияния углеродных нанотрубок на изменение физико-механических свойств резин и на изменение числа поперечных связей резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК) марки БНКС-18 АМ. Для сшивания макромолекул БНК обычно используют серную вулканизирующую группу [1]. Были исследованы многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) с удельной площадью поверхности около  $170\text{ м}^2/\text{г}$ .

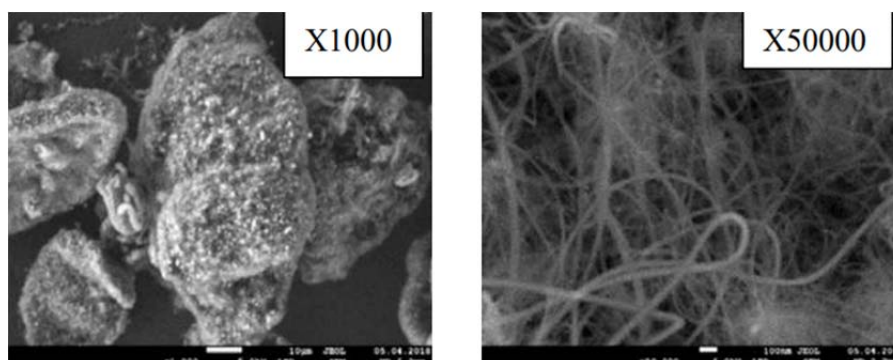


Рис. 1. Электронные микрофотографии многостенных углеродных нанотрубок

Физико-механические свойства резин исследованы на разрывной машине Autograph UGS-J (ГОСТ 270-75). По величине равновесного набухания вулканизата оценивали степень вулканизации резин, т. к. на величину максимума набухания влияет густота молекулярной сетки. Исследование числа поперечных связей проводили в соответствии с методикой, описанной в работе [2].

Физическую сетку резин, косвенным образом оценивали по изменению условной прочности при разрыве ( $f$ ) (рис. 1).

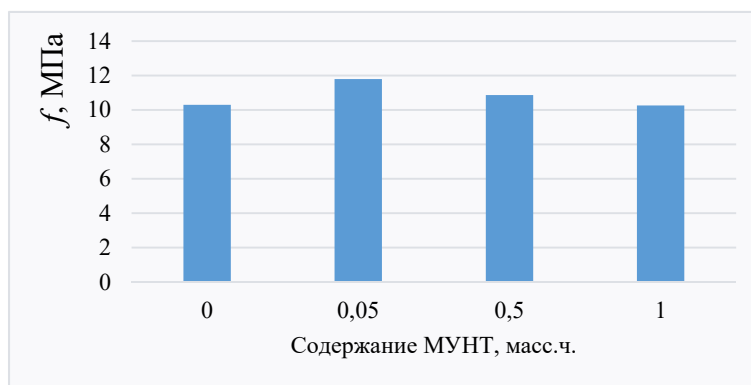


Рис. 2. Зависимость изменения условной прочности при разрыве резин на основе БНКС-18 от содержания МУНТ

Установлено, что введение 0,05 масс. ч МУНТ на 100 масс.ч. каучука приводит к повышению условной прочности при разрыве на 14 %, по сравнению с исходной резиной.

С увеличением концентрации МУНТ условная прочность остается на уровне в пределах погрешности. Для РТИ изделий, которые используются в качестве уплотнительных деталей в различных узлах минимальное значение  $f$  должно составлять 7 МПа, таким образом можно сказать, что модельная резина на основе БНКС-18 обладает достаточным запасом прочности.

С другой стороны, эксплуатационные характеристики зависят от качества химической сетки вулканизатов. Это может быть достигнуто от правильного подбора рецептуры и равномерного распределения по матрице каучука всех компонентов резиновой смеси, участвующих в образовании химической сетки. В работе исследовали модельную рецептуру, вулканизирующим агентом являлась сера. Известно, что с увеличением в вулканизате поперечных связей молекулам растворителя труднее проникать между молекулами каучука: чем больше степень сшивания, тем меньше максимум набухания эластомера [3]. Методом равновесного набухания установлено, что при повышении содержания МУНТ в составе резин на основе БНКС-18 увеличивается число поперечных связей вулканизатов до 35 %, по сравнению с исходной резиной (табл. 1). Возможно, МУНТ из-за наличия избыточной энергии на границе раздела фаз может участвовать в диспергировании других веществ, входящих состав резины.

Таблица 1

*Количество поперечных связей ( $n_c$ ), приходящихся на 1 см<sup>3</sup> резин на основе БНКС-18, модифицированных МУНТ*

$n_c \cdot 10^{-19}, \text{см}^3$	Содержание МУНТ, масс. ч.			
	0	0,05	0,5	1,0
БНКС-18	6,53	9,07	7,79	7,52

### Список литературы

1. Папков В.Н., Гусев Ю.К., Ривин Э.М. Бутадиен-нитрильные каучуки. Синтез и свойства: монография – Воронеж: 2014. – 218 с.;
2. Голицына Л.А. Химия и физика полимеров: методичка. – Киров: Вят. ГТУ, 1997. – 39 с.
3. Шварц А.Г. Монограммы для определения густоты пространственной сетки вулканизатов. // Каучук и резина. – 1957. – № 7. – С. 31–34;

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ МАСЛА ПИХТЫ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

*Чэнь Сюань, магистр гр.4БМ22,  
Шевченко И.Н., аспирант гр. А1-48,  
Ли Сяоянь, магистр гр.4БМ22,  
Лямина Г.В., к.х.н., доцент ОМ ИШНПТ  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: syuan2@tpu.ru*

## **Введение**

Основной проблемой при эксплуатации сталей является коррозия, приводящая к ухудшению ее механических свойств. Использование ингибиторов коррозии может замедлить процесс разложения металла и увеличить срок службы изделий, однако проблема остается актуальной, и разработчики антикоррозионных составов пытаются увеличить их эффективность [1]. В частности, добавка наночастиц металлов и их соединений к традиционным защитным составам позволяет увеличить их антикоррозионные свойства [2–4].

Для синтеза наночастиц существует ряд методик, позволяющих получать порошки схожего состава, но с разными свойствами, обусловленными их морфологией [5]. Наиболее популярные методы синтеза наночастиц используемые в области контроля коррозии – химические [7]. В настоящей работе нами использовано несколько методов получения наночастиц из суспензий. Полученные частицы оксида цинка смешивали с маслом пихты [8].

Так как использование наночастиц в антикоррозионных составах зачастую меняет механизм электрохимических процессов, в качестве метода оценки эффективности ингибитора использовали метод электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС). ЭИС успешно используется в области контроля коррозии благодаря широкому спектру получаемой информации о электрохимической кинетике на границах раздела электрод-среда, что позволяет определять механизм и скорость диффузии агрессивной среды к защищаемому материалу [9].

Цель данной работы – методом электрохимической импедансной спектроскопии сравнить антикоррозионный эффект масла пихты с добавками наночастиц оксида цинка, полученных разными способами на примере стали У8А.

## **Экспериментальные методики**

Для подготовки прекурсоров готовили 1 М растворы нитрата цинка. Из полученного раствора осаждали гидроксид цинка добавлением NaOH. Полученные частицы разделяли от растворителя методами фильтрации (ZnO1), нанораспылительной сушки (Nanospray Drying B-90) (ZnO2) [9] и СВЧ-сушки (ZnO3).

Ингибитор готовили, смешивая масло пихты с НЧ ZnO (0,15 %, масс.) [10] при помощи вихревой мешалки в течение 30 секунд (Вортекс Daihan VM-10).

Поверхность стальных образцов (У8А) подготавливали шлифовкой наждачной бумагой (P320) и последующей очисткой этиловым спиртом. Перед испытанием образцы протирали тканью, смоченной в растворе ингибитора, и сушили при комнатной температуре в течение 30 минут.

Для получения диаграмм Найквиста и Бode использовали потенциостат-гальваностат CorrTest CS310 (CorrTest Instruments, China). В качестве рабочих электродов использовали изолированные стальные пластины (0,25 см<sup>2</sup>), в качестве вспомогательных электродов и электродов сравнения – насыщенные хлорсеребряные электроды. В качестве фонового электролита использовали 0,1М HCl. Регистрацию данных проводили в потенциостатиче-

ском режиме с амплитудой развертки 10 мВ в диапазоне частот от  $10^{-1}$ – $10^5$  Гц. Аппроксимацию результатов измерений импеданса проводили с использованием ПО ZView.

### Результаты и обсуждение

При оценке свойств ингибиторов методом ЭИС была использована модель эквивалентной цепи, представленная на рис. 1. Здесь  $R_s$  – сопротивление электролита,  $C_{dl}$  и  $R_{dl}$  – емкость и сопротивление переносу заряда на границе между сталью и электролитом.

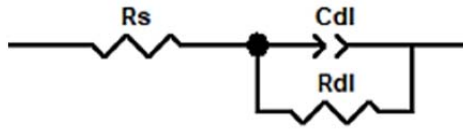


Рис. 1. Модель эквивалентной цепи сталей У8А и Ст3 в 0.1 МНCl

Для расчета емкости двойного электрического слоя (ДЭС) использовалась формула:

$$C_{dl} = (Y_0 \cdot R_{dl}^{1-n})^{1-n},$$

где  $Y_0$  – значение, характеризующее количественное соотношение между резистивными и емкостными характеристиками в СРЕ элементе,  $n$  – коэффициент СРЕ элемента, выражающий отношение моделируемого элемента к идеальному конденсатору,  $R_{dl}$  – сопротивление переносу заряда.

Кривые, полученные на основе модели эквивалентной цепи, представлены на рис. 2.

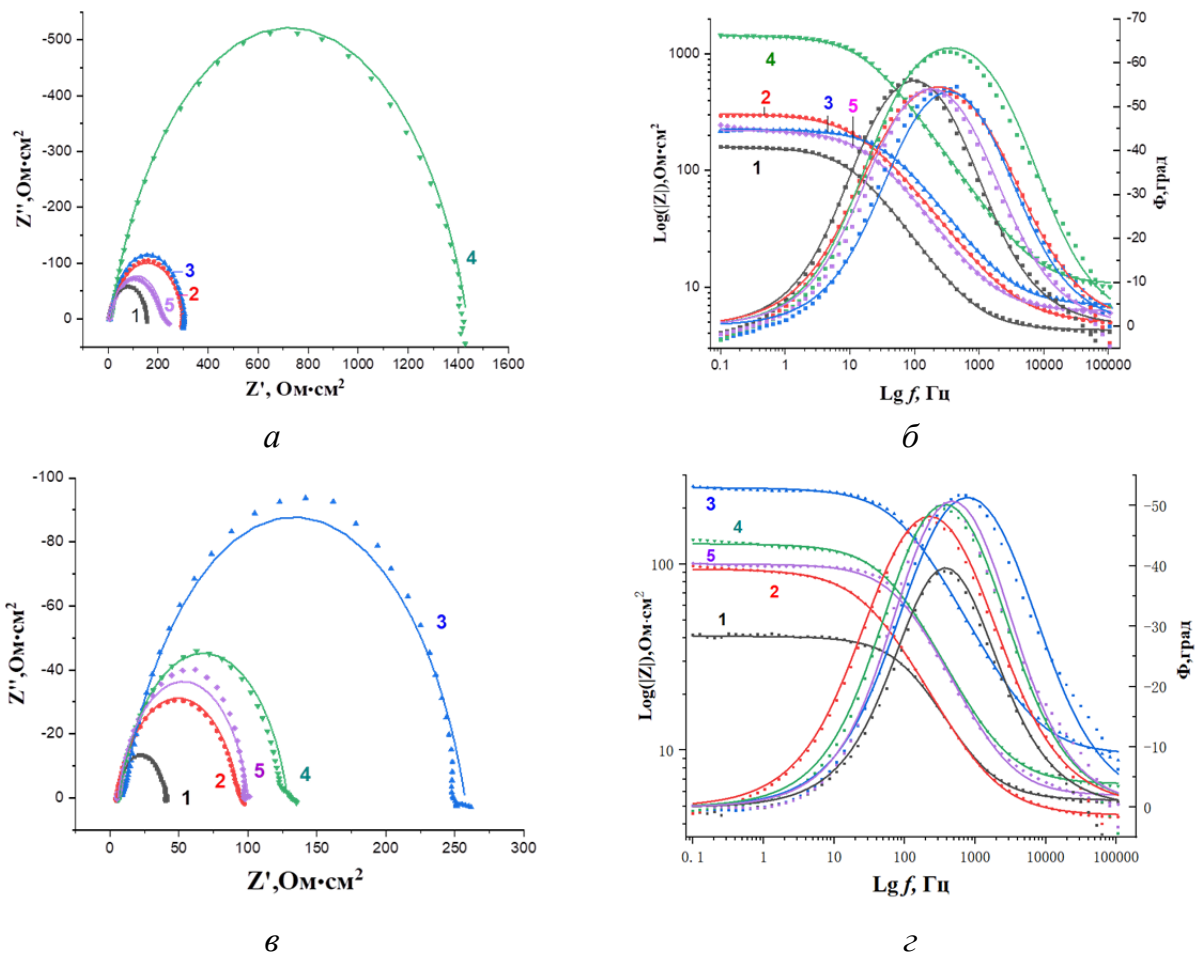


Рис. 2. Диаграммы Найквиста (а, в) и Бодэ (б, г) для У8А (а, б) и Ст3 (в, г) в растворе 0,1 М НCl: 1 – без ингибитора; 2 – МП; 3 – МП-ZnO1; 4 – МП-ZnO2; 5 – МП-ZnO3

Диаграммы, построенные в координатах Найквиста, демонстрируют улучшение антикоррозионных свойств, при использовании покрытия на основе МП для обеих сталей (рис. 2, а, в, кривые 2). Добавление наночастиц приводит к дальнейшему росту сопротивления (рис. 2, а, в, кривые 3–5). Исключение составляют НЧ, полученные методом СВЧ сушки для стали У8А.

Для стали У8А ингибитор, содержащий частицы оксида цинка, подготовленные методом нанораспылительной сушки, обеспечивает наиболее эффективную антикоррозионную защиту, в то время как для стали Ст3 – методом фильтрации. Это видно по максимальным значениям диаметров окружностей 4 и 3 на рис. 2, а и в, соответственно. В частности, для стали У8А использование МП-ZnO<sub>2</sub> привело к увеличению сопротивления с 155,1 Ω см<sup>2</sup> до 1425 Ω см<sup>2</sup>. Усиленные антикоррозионные свойства сохраняются во всем диапазоне задаваемых частот, что демонстрируют диаграммы Боде (рис. 2, б, г).

Эффективность антикоррозионных свойств покрытия оценивали по формуле:

$$\eta = \frac{R_{dl.1} - R_{dl.0}}{R_{dl.1}} \cdot 100 \%,$$

где  $R_{dl.1}$  – сопротивление переносу заряда для образца стали с покрытием,  $R_{dl.0}$  – сопротивление переносу заряда чистой стали.

В табл. 1. представлены основные характеристики, полученные методом ЭИС для покрытий на основе масла пихты и наночастиц. На основании значений эффективности защиты можно сделать основной вывод, что способ получения наночастиц и, как следствие, их различная морфология неоднозначно влияют на конечные свойства ингибитора. Однако можно отметить, что частицы, полученные СВЧ-сушкой во всех случаях дают наименьший вклад в антикоррозионную защиту.

Таблица 2

*Параметры коррозии, полученные методом ЭИС в 0.1M HCl*

Ингибитор коррозии	$R_s, \Omega \text{cm}^2$	$R_{dl}, \Omega \text{cm}^2$	$C_{dl}$	$\eta, \%$
У8А	4.283	155.1	0.24	–
У8А+МП	4.975	302.9	0.14	48.79
У8А+МП+ZnO1	6.849	301.1	0.24	48.48
У8А+МП+ZnO2	10.49	1425	0.15	89.12
У8А+МП+ZnO3	6.185	216.6	0.11	28.39
Ст3	5.373	35.62	0.25	–
Ст3+МП	4.453	89.76	0.18	60.32
Ст3+МП+ZnO1	9.461	247.9	0.13	85.63
Ст3+МП+ZnO2	6.554	122.1	0.19	70.83
Ст3+МП+ZnO3	5.682	94.57	0.22	62.33

### Выводы

1. Показано, что сопротивление переноса заряда в ряду Ст3, Ст3–МП, Ст3–МП–ZnO1 составляет 35.62, 89.76 и 247.9 Ω'cm<sup>2</sup>, соответственно. Эффективность ингибитора составила 60.32 % и 85.63 % для Ст3–МП и Ст3–МП–ZnO1, соответственно.

2. Показано, что сопротивление переноса заряда в ряду У8А, У8А–МП, У8А–МП–ZnO2 составляет 155.1, 302.9 и 1425 Ω' cm<sup>2</sup>, соответственно. Эффективность ингибитора составила 48.79 % и 89.12 % для У8А–МП, У8А–МП–ZnO2, соответственно.

Работа выполнена при частичной поддержке Госзадания «Наука» номер 075-03-2023-105 на оборудовании ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

## Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Abd-Elaal A.A., Elbasiony N.M., Shaban S. M., Zaki E.G. Studying the corrosion inhibition of some prepared nonionic surfactants based on 3-(4-hydroxyphenyl) propanoic acid and estimating the influence of silver nanoparticles on the surface parameters // Journal of Molecular Liquids. – 2018. – Vol. 249. – P. 304–317.
4. Kamarajan G., Benny Anburaj D., Porkalai V., Muthuvel A., Nedunchezian G. Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Acalypha indica* leaf extract and their photocatalyst degradation and antibacterial activity // Journal of the Indian Chemical Society. – 2022. – Vol. 99. – 100695.
5. Shen X.-Y., Zhai Y.-C., Zhang Y.-H. Preparation and characterization of ultrafine zinc oxide powder by hydrothermal method // Transaction of Nonferrous Metals Society of China. – 2010. – Vol. 20. – P. 236–239.
6. Singh G., Devi A., Mohit, Satija P., Sushma, Vikas, Gonzalez-Silvera D., Espinosa-Ruiz C., Esteban M.E. ES IPT silatranyl framework and their hybrid silica nanoparticles for recognition of Zn<sup>2+</sup> ions: Synthesis, antioxidant, cytotoxicity and molecular docking approach as xanthine oxidase inhibitor // Inorganica Chimica Acta. – 2022. – Vol. 542. – P. 121–126.
7. Ruiz A.M., Hernández H.H., Hernández J.M., et al. Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS): A Review Study of Basic Aspects of the Corrosion Mechanism Applied to Steels. – IntechOpen, 2020. – 168 p.
8. Соловьёва Е.С., Адамович Т.А. Состав и свойства эфирного масла пихты сибирской *abies sibirica* Ldb., произрастающей в разных районах Кировской области // Химия растительного сырья. – 2020. – № 3. – С. 291–297.
9. Лямина Г.В., Илела А.Э., Качаев А.А., Амантай Д., Колосов П.В., Чепрасова М.Ю. Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 33. № 2. – С. 119–124.
10. 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.

# ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ SI-AL-N ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ РЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ ALSIRE В АТМОСФЕРЕ АЗОТА И АРГОНА

Турсунханова<sup>2</sup> Р.Б.<sup>1,2</sup>, аспирант гр. А0-08

Сергеев В.П.<sup>1,2</sup>, д.т.н., профессор ОмШ, ИШНПТ

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: rbt1@tpu.ru

В настоящее время остро стоит проблема безопасности космических аппаратов (КА), связанная с частыми столкновениями корпусов КА с мелкими фрагментами космического мусора и микрометеороидами. В результате оптические системы и конструкции КА накапливают повреждения в виде кратеров и царапин, что приводит к снижению их прочности и долговечности. Обеспечение безопасности космических полетов является важным фактором в освоении космоса. При контроле состояния иллюминаторов, осуществляемом экипажами КА, обнаружены множественные следы мелкократерных повреждений размером до 1 мм [1]. Связи с этим разными исследователями были проведены расчеты потока метеороидных и техногенных частиц, бомбардирующих стекла иллюминаторов, которые впоследствии были сопоставлены с экспериментальными данными и другими теоретическими моделями [2, 3]. Из результатов работы [4] следует, что одним из эффективных способов решения данной проблемы является нанесение на оптические детали КА защитного покрытия Si-Al-N, которое характеризуется высокой прозрачностью в видимой области спектра и высоким уровнем механических свойств.

Целью настоящей работы является исследование микроструктуры, фазового состава и механических свойств многокомпонентного покрытия на основе Al-Si-Re-N, полученного методом магнетронного распыления композиционной мишени на основе сплава  $Al_{1-x}Si_xRe_y$  в газовой азото-аргонной атмосфере.

Материалом для исследований являлось покрытие Al-Si-Re-N, осажденное на поверхность кварцевого стекла диаметром 15 и толщиной 4 мм. Синтез покрытия осуществляли методом магнетронного напыления на установке УВН-05МД «КВАНТ» (НПП «Техимплант лтд», г. Томск) в атмосфере азота и аргона. Микроструктуру и элементный анализ образцов анализировали на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEM-2100 (Jeol Ltd, Japan), оснащенный приставкой для рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (ЭДС) INCA Energy (Oxford Instruments, Великобритания). Микротвердость покрытия определяли на микротвердомере «ПМТ-3» при одной нагрузке 0,3434 Н. Ударные испытания стекла с покрытием Al-Si-Re-N и без покрытия проводили на легкогазовой пушке МПХ23/8 путем бомбардировки образцов железными частицами размерами 50–60 мкм со скоростью 5–8 км/с. Поверхностную плотность образовавшихся на стеклянной пластине кратеров оценивали на сканирующем электронном микроскопе LEO EVO 50 (Zeiss, Германия). Химический состав покрытия, согласно методу ЭДС/ПЭМ, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Элементный состав покрытия Al-Si-Re-N

Покрытие	Элементы	Концентрация (ат. %)
Al-Si-Re-N	Al	34
	Si	11
	Re	12
	N	43



Структура покрытия Al-Si-Re-N представлена на рис. 1, а. В образце с покрытием, согласно темнопольному ПЭМ изображению, обнаружены столбчатые зерна. Средний размер элементов столбчатой структуры составляет  $39,8 \pm 6,2$  нм в поперечном сечении и  $188 \pm 86$  нм в продольном сечении. На микродифракционной картинке присутствуют кольцевые рефлексы от фазы AlN с гексагональной плотноупакованной кристаллической решеткой, имеющей пространственную группу  $R\bar{3}m$  (186), (ICDD #00-008-0262) (рис. 1, б).

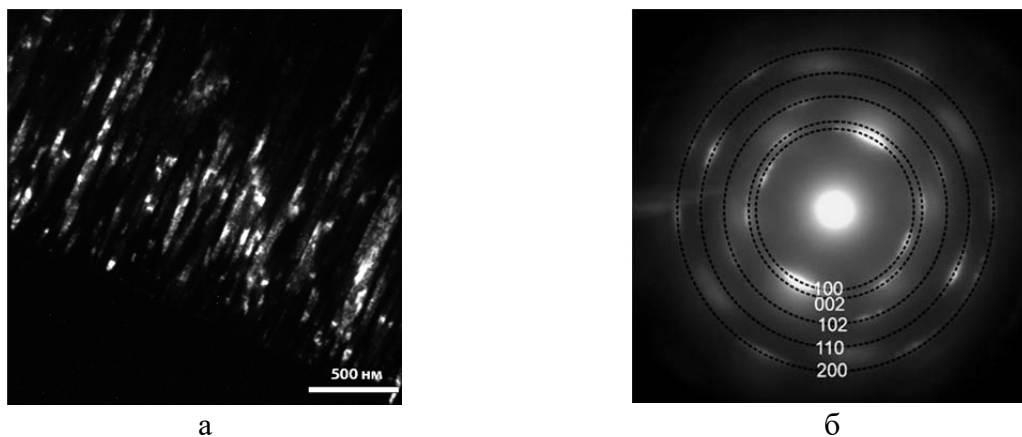


Рис. 1. ПЭМ-изображения микроструктуры покрытия Al-Si-Re-N (а) и соответствующая ему микродифракционная картина (б)

Результаты исследований показали, что среднее значение микротвердости для исходного стекла составляет  $10,6 \pm 1,0$  ГПа, а для стекла с покрытием составляет  $16,9 \pm 0,4$  ГПа, что превышает аналогичное значение для подложки в 1,6 раз. Поверхностная плотность кратеров для подложки из кварцевого стекла (без покрытия) составила  $5,52 \text{ мм}^{-2}$ . Напротив, в образцах с покрытием на основе Al-Si-Re-N толщиной 4 мкм наблюдается значительное снижение количества мелких кратеров и, соответственно, поверхностной плотности кратеров в 1,8 раза (до  $3,08 \text{ мм}^{-2}$ ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что нанесение покрытий Al-Si-Re-N снижает вероятность образования кратеров на поверхности кварцевого стекла. Противоударные свойства покрытия обусловлены сформированной в нем нанокристаллической структурой фазы AlN, имеющей более высокие значения микротвердости и модуля упругости, чем у исходного стекла, и повышенную плотность материала легированного рением покрытием Al-Si-Re-N в сравнении с кварцевым стеклом  $\text{SiO}_2$ .

Исследование выполнено в рамках программ развития Томского политехнического университета и фундаментальных научных исследований ИФПМ СО РАН (FWRW-2021–0003).

### Список литературы

1. Воробьев Ю.А., Магжанов Р.М., Семенов В.И., Устинов В.В., Фельдштейн В.А., Чернявский А.Г., Влияние высокоскоростных ударов метеороидов и частиц космического мусора на прочность стекол иллюминаторов модулей Международной космической станции, Космическая техника и технология. 1 (2015).
2. Adushkin V.V., Aksenov O.Y., Veniaminov S.S., Kozlov S.I., Tyurenkova V.V. The small orbital debris population and its impact on space activities and ecological safety, Acta Astronaut. 176 (2020) 591–597. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.01.015>.
3. F. wei Ke, J. Huang, X. zhong Wen, Z. xia Ma, S. Liu, Test study on the performance of shielding configuration with stuffed layer under hypervelocity impact, Acta Astronaut. 127 (2016) 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.06.037>.
4. Божко И.А., Рыбалко Е.В., Иванова А.В., Калашников М.П., Сергеев В.П., Христенко Ю.Ф., Экспериментальное исследование воздействия потока высокоскоростных микрочастиц на защитные покрытия системы Al-Si-N, Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 1 (2017) 95–99.

## РАСЧЕТЫ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА ШВА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АЗОТА

*Костина В.С.<sup>1</sup>, к.т.н., м.н.с.,*

*Костина М.В.<sup>1</sup>, д.т.н., в.н.с., зав. лаб., доцент,*

*Кудряшов А.Э.<sup>1,2</sup>, м.н.с., аспирант Т110-106А-23,*

*Федорцов Р.С.<sup>1,2</sup>, м.н.с., аспирант Т110-205А-22,*

*Спицина И.В.<sup>1</sup>, инженер-исследователь*

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»*

*(национальный исследовательский университет)*

E-mail: al.kudriashov@mail.ru

Благодаря комплексу свойств, аустенитные высокоазотистые стали могут использоваться в машиностроении, приборостроении (благодаря немагнитности), медицине, авиационной и ракетно-космической технике, бытовых нуждах и т. д. Осуществление практического применения таких сталей предполагает хорошую технологичность, в том числе свариваемость. Для сварки аустенитных сталей с высокой концентрацией азота (0,4–0,6 %) целесообразно использовать сварочную присадку также с повышенной концентрацией этого элемента. Процесс получения качественных сварных соединений таких сталей затруднен из-за отсутствия на рынке сварочных присадочных материалов, разработанных специально для сварки высокоазотистых сталей [1–3].

В качестве основы для разработки такой присадки была взята Fe-Cr-Mn сталь, легированная элементами внедрения – азотом (~0,5 %) и углеродом; и элементами замещения: никелем и молибденом, что обеспечило получение аустенитной структуры, высокой прочности, коррозионной стойкости, хладостойкости [4, 5]. При выборе химического состава сварочной Cr-Ni-Mn-Mo-N проволоки были проведены термодинамические расчёты растворимости азота и расчеты фазового состава по диаграмме Шеффлера с использованием расчетных концентраций азота. Критериями отбора служили необходимость обеспечения аустенитной структуры и высокой коррозионной стойкости, оценивавшейся по величине индекса питтингостойкости PREN [6].

В результате расплавления Cr-Ni-Mn-Mo-N проволоки при сварке возможен частичный уход летучих элементов – азота и марганца – из металла сварного шва. Целью работы было провести оценку термодинамически равновесного фазового состава металла сварного шва в зависимости от содержания в нем азота и марганца, с применением программы Thermo Calc для построения температурных сечений фазовых диаграмм.

Построенные фазовые диаграммы для композиции новой сварочной проволоки с переменным содержанием азота и марганца представлены на рис. 1. Пунктирной линией на этих рисунках обозначено количество азота и марганца, содержащегося в металле сварочной проволоки рассчитанного состава (табл. 1).

Таблица 1

*Марочный состав проволоки с концентрацией азота, рассчитанной для среднемарочного содержания легирующих элементов*

Сварочная проволока	Химический состав, % масс (Fe – и примеси – остальное)										[N], %	Ni <sub>экв</sub> / Cr <sub>экв</sub>	PREN
	N	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	V	C	S	P			
	не более												
Св-05Х22АГ15Н8М2Ф	0,57	0,1–0,2	21–22	7,8–9	15–16	1–2	0,3	0,04	0,008	0,012	0,57	0,73	32

В стали данного химического состава выделение из аустенита нежелательной Z-фазы (в дополнение к нитридам CrN, карбидам  $M_{23}C_6$  и  $\sigma$ -фазе) в равновесных условиях возможно при снижении температуры до  $\sim 700^\circ\text{C}$  и при снижении концентрации азота вплоть до 0,5 % (рис. 1, а). Однако, по данным [7], Z-фаза образуется при длительных тепловых выдержках в жаропрочных сталях. Учитывая, что сварка является неравновесным процессом, при котором каждый проход сварочной дуги сопровождается расплавлением небольшого участка свариваемой кромки металла и расплавлением сварочной проволоки, небольшого диаметра ( $\sim 1,2$  мм) и последующим охлаждением, ожидать появления в зоне металла шва, зоне сплавления или зоне термического влияния свариваемого изделия нежелательных Z-фазы или  $\sigma$ -фазы не следует.

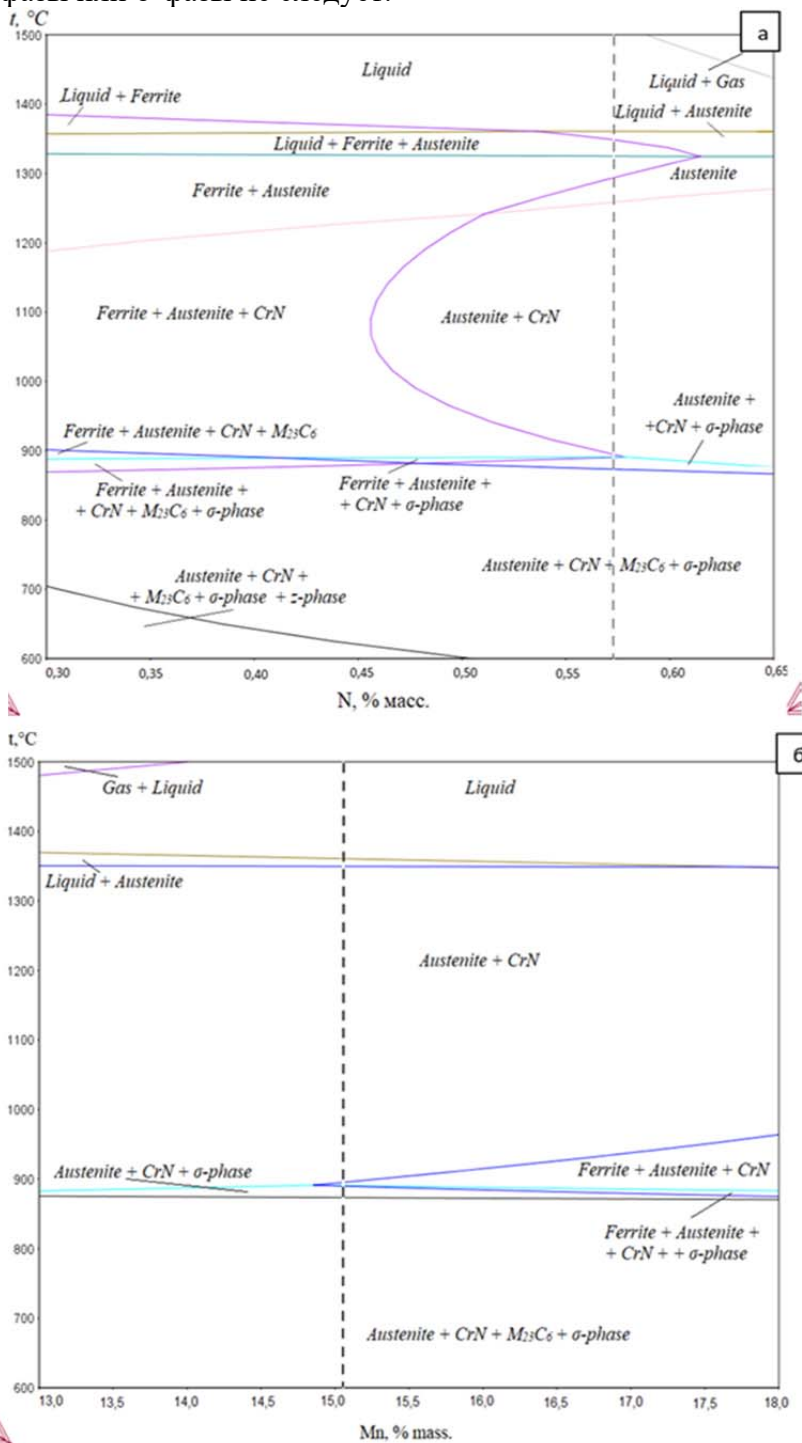


Рис. 1. Расчеты термодинамически равновесного фазового состава сварочной проволоки 05X22AG15H8MФ в зависимости от содержания в ней: а) азота (при концентрации 15,1 % Mn); б) марганца (при концентрации 0,57 % азота)

Как видно из расчетных данных на рис. 1, б, некоторое возможное снижение концентрации марганца при сварке не может привести к негативным изменениям фазового состава.

Работа выполнена по гранту Президента МК-1100.2022.4 «Разработка физико-химических основ ресурсо- и энергоэффективной технологии сварки высокоазотистых аустенитных коррозионностойких сталей для получения сварных соединений с улучшенными эксплуатационными характеристиками».

#### **Список литературы**

1. Mohammed G.R., Madhusudhan R.K., Srinivasa R. Effect of Filler Wire Composition on Microstructure and Pitting Corrosion of Nickel Free High Nitrogen Stainless Steel GTA Welds // *Trans Indian Inst Met.* – 2016. – Vol. 69, № 10 – P. 1919–1927.
2. Madeleine du Toit. Filler Metal Selection for Welding a High Nitrogen Stainless Steel // *Journal of Materials Engineering and Performance.* – 2002. – Vol. 11, № 3 – P. 306–312.
3. Бишоков Р.В., Барышников А.П., Гежа В.В., Мельников П.В. Сварочные материалы и технологии сварки высокопрочных сталей // *Вопросы материаловедения*, 2014. – № 2 (78), – С. 128–137.
4. Berns H. Manufacture and application of high nitrogen steels. *ISIJ Int.* – 1996. – Vol. 36, № 7 – P. 909–904.
5. Simmons J.W. Overview: high-nitrogen alloying of stainless steels // *Mat Sci and Eng. Ser. A.* – 1996. – Vol. 207 – P. 159– 169.
6. Костина В.С., Костина М.В., Кудряшов А.Э., Мурадян С.О. Применение высокоазотистой сварочной проволоки в качестве присадочного материала при аргонодуговой сварке // В сборнике: *МашТех 2022. Инновационные технологии, оборудование и материальные заготовки в машиностроении. сборник трудов Международной научно-технической конференции.* – Москва, 2022. – С. 231–233.
7. Hilmar K. Danielsen, John Hald, Flemming B. Grumsen, Marcel A.J. Somers. On the crystal structure of Z -phase Cr (V, Nb) N // *Metallurgical and Materials Transactions.* – 2006. – Vol. 37, № 9 – P. 2633-2640.

## СИНТЕЗ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА БЕЗВАКУУМНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Васильева Ю.З.<sup>1</sup>, Некля Ю.А.<sup>2</sup>, Сперанский М.Ю.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, научный сотрудник ЛПМЭО,*

*E-mail: yzv1@tpu.ru;*

*<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, студент 0А15,*

*E-mail: yan26@tpu.ru;*

*<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШЭ, аспирант 3-А9-42,*

*E-mail: speranskiy@tpu.ru*

В современной промышленности наблюдается увеличение спроса на новые материалы, обладающие функциональным назначением. Особо ценятся материалы, работающие в сложных эксплуатационных условиях. Покрытия на основе боридов вызывают повышенный интерес благодаря твердости и устойчивости к высоким температурам. Особое внимание уделяется боридам молибдена. Борид молибдена является важным кандидатом на звание сверхтвердого материала. Данный факт открывает большие перспективы для использования его в качестве материала для абразивных и режущих инструментов. Борид молибдена находит применение в производстве жаропрочных и износостойких компонентов, таких как инструменты для обработки металлов, покрытия для защиты от износа и коррозии. Одной из особенностей борида молибдена считается высокая термическая устойчивость при температурах свыше 1800 °С [1].

Методы получения борида молибдена весьма разнообразны: высокотемпературный синтез [2], механохимический синтез [3], а также метод дуговой плавки [4]. В настоящее время ведутся поиски нового способа получения боридов молибдена. Одним из перспективных методов на сегодняшний день рассматривается безвакуумный электродуговой метод, его особенностью является использование в качестве рабочей среды атмосферного воздуха. Ранее нами была предпринята попытка синтеза боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом с использованием дуги постоянного тока [5]. В данной работе представлены поисковые экспериментальные исследования по получению боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом с использованием дуги переменного тока.

Целью исследования является получение боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом и исследование фазового состава полученного порошка методом рентгеновской дифрактометрии.

Экспериментальные исследования по получению борида молибдена проводились на оригинальном дуговом реакторе переменного тока. Одним электродом являлся графитовый стержень длиной 100 мм и диаметром 14 мм. Другой электрод представлял из себя тигель высотой 21 мм и диаметром 40 мм. Для проведения эксперимента была выполнена подготовка исходных порошков молибдена и бора, которые смешивались в шаровой мельнице в течение 30 мин при частоте 30 Гц. После процесса подготовки однородный порошок загружался в тигель. Затем тигель помещался в дуговой реактор, и к нему подводился электрод для инициирования дугового разряда. Для этого источник питания настраивался на силу тока 200 А. Дуговой разряд инициировался в полости тигля и поддерживался в течение 40 с. По окончании горения дугового разряда полученный порошок собирался с внутренних стенок тигля. Фазовый состав порошка анализировался методом рентгеновской дифрактометрии с помощью рентгеновского дифрактометра марки Shimadzu XRD-7000s.

На рис. 1 представлена типичная картина рентгеновской дифракции. Анализ показал, что в составе порошка присутствуют фазы: Mo, MoB, MoB<sub>2</sub> и Mo<sub>2</sub>B<sub>5</sub>. Фазе тетрагонального борида молибдена MoB (№ 00-051-0940, PDF4+) принадлежат дифракционные максимумы на 2θ ~ 29°, 33°, 39°, 42°, 49° и 52°. Фазе MoB<sub>2</sub> (№ 01-073-0704, PDF4+), характеризующейся ромбоэдрической кристаллической решеткой, соответствуют дифракционные максимумы на 2θ ~ 34°, 45° и 71°. Кроме того, на картине рентгеновской дифракции присутствуют дифракционные максимумы, соотносящиеся с эталонными для фа-

зы  $\text{Mo}_2\text{B}_5$  (№ 00-038-1460, PDF4+), которые расположены на  $2\theta \sim 25^\circ, 35^\circ, 46^\circ, 61,5^\circ, 70^\circ, 75,5^\circ$  и  $79^\circ$ . Помимо фаз боридов молибдена можно отметить дифракционные максимумы молибдена (№ 01-077-8340, PDF+) на  $40,5^\circ, 59^\circ, 73,5^\circ$  и  $88^\circ$ , наличие которых связано с неполной переработкой исходного молибдена в бориды.

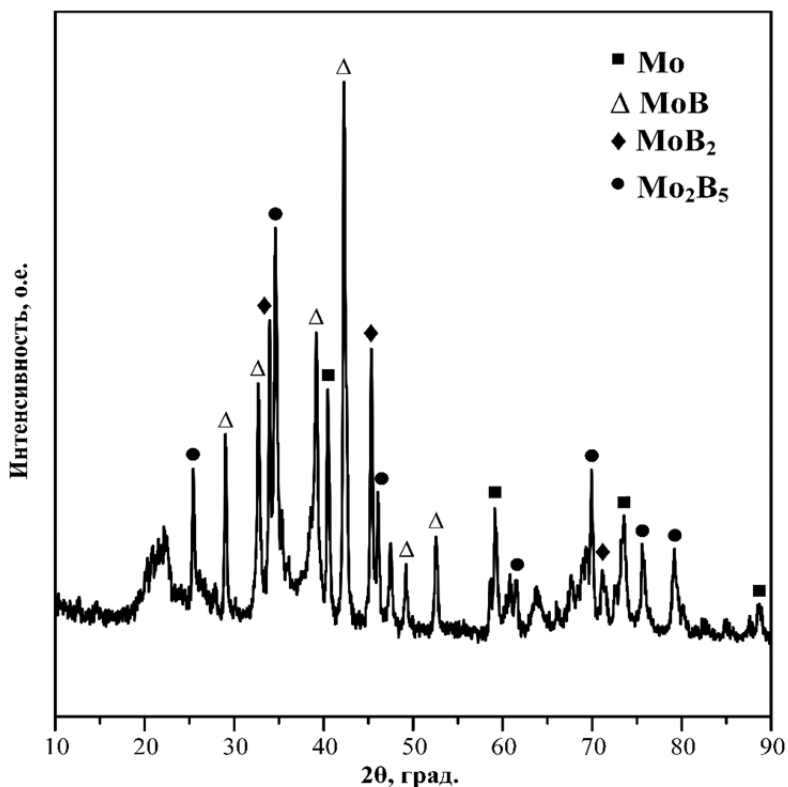


Рис. 1. Результат рентгеновской дифрактометрии продукта синтеза

Таким образом, в работе представлены экспериментальные исследования, доказывающие возможность получения боридов молибдена безвакуумным методом с применением дуги переменного тока. Методом рентгеновской дифрактометрии определен фазовый состав продукта синтеза. Для регулирования фазового состава продукта необходимо подобрать оптимальные параметры процесса синтеза. Данная задача будет реализовываться в дальнейших исследованиях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-7901145, <https://rscf.ru/project/23-79-01145/>.

### Список литературы

1. Camurlu H.E. Preparation of single phase molybdenum boride // Journal of alloys and compounds. – 2011. – Vol. 509. – № 17. – P. 5431–5436.
2. Yeh C.L., Hsu W.S. Preparation of molybdenum borides by combustion synthesis involving solid-phase displacement reactions // Journal of alloys and compounds. – 2008. – Vol. 457. – № 1–2. – P. 191–197.
3. Kudaka K., Iizumi K., Sasaki T., Okada S. Mechanochemical synthesis of  $\text{MoB}_2$  and  $\text{Mo}_2\text{B}_5$  // Journal of alloys and compounds. – 2001. – Vol. 315. – № 1–2. – P. 104–107.
4. Park H., Encinas A., Scheifers J.P., Zhang Y., Fokwa B.P. Boron-dependency of molybdenum boride electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction // Angewandte Chemie International Edition. – 2017. – Vol. 56. – № 20 – P. 5575–5578.
5. Некля Ю.А., Васильева Ю.З. Синтез бориды молибдена в атмосферной электродуговой плазме // Бутаковские чтения: материалы II Всероссийской с международным участием молодежной конференции, 13–15 декабря 2022 г., Томск. – Томский политехнический университет, 2022. – С. 521–523.

## ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ИЗМЕНЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ЭПХГ

Филиппов А.А.<sup>1</sup>, Тимофеева Е.Н.<sup>2</sup>

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

E-mail: ais190901@gmail.com

Современные полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые используются в машиностроении, часто модифицируются различными нанодобавками. Введение небольшого количества наночастиц, различной природы, способно в десятки раз повышать эксплуатационные характеристики ПКМ. Известно, что нанопорошки из-за большой поверхностной энергии и малых размеров термодинамически неустойчивыми и подверженным процессам агломерации. Существуют различные способы замедления этого процесса, например, химическая обработка поверхности нанопорошков или различные физические способы активации, как УЗ-обработка.

В этой работе представлены результаты определения оптимального режима УЗ-обработки многостенных углеродных нанотрубок и исследование влияния на свойства резин на основе эпихлоргидринового каучука (ЭПХГ). В работе [1] было подробно исследовано влияние МУНТ в составе ЭПХГ марки HYDRIN T6000. По результатам комплексных исследований было установлено, что оптимальное содержание МУНТ составляет 0,5 массовых частей на 100,0 массовых частей ЭПХГ каучука. Подробное описание методики УЗ-обработки описана в патенте [2А.А.]. Эффективность УЗ-обработки оценивали изменением удельной поверхности углеродных нанотрубок до и после обработки на анализаторе удельной поверхности NOVA touch LX2. Морозостойкость оценивали по изменению коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия (Кв) (ГОСТ 13808-79).

Установлено, что для необработанных МУНТ удельная поверхность ( $S_{уд}$ ) составляет 147 м<sup>2</sup>/г, а после УЗ-активации  $S_{уд}$  повышается до 228 м<sup>2</sup>/г, что свидетельствует об увеличении степени дисперсности МУНТ в результате озвучивания, предложенным методом «сухой» ультразвуковой обработки МУНТ (рис. 1). Однако, как и ожидалось, существует определенный лимит воздействия на изменение удельной поверхности МУНТ. Так, на рисунке показано, что при продолжительной УЗ-обработке МУНТ наблюдается циклический характер изменения удельной поверхности, то есть наблюдается чередование повышения и уменьшения удельной поверхности в зависимости от времени и мощности УЗ-волны.

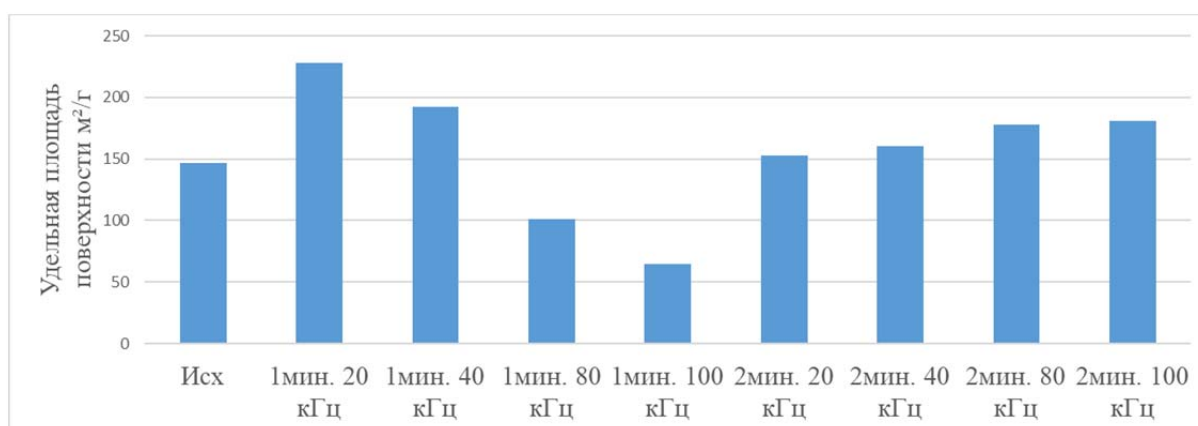


Рис. 1 Изменение удельной поверхности многостенных углеродных нанотрубок при различных режимах УЗ-обработки на генераторе И-10.

Наилучший результат был получен в процессе УЗ-обработки в течение 1 минуты и частоте УЗ- воздействия 20 кГц. При этом значение  $S_{уд}$  составило 228 м<sup>2</sup>/г, что на 55 % лучше, чем у исходных МУНТ.



Сохранение эластичности резин при экстремально низких температурах является актуальной задачей для эксплуатации техники в условиях Арктики и Крайнего Севера. Для РТИ уплотнительного назначения наиболее информативной является метод изучения коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия ( $K_B$ ). ЭПХГ каучук входит в ряд морозостойких каучуков, но несмотря на это требует доработки рецептуры резин на основе данного каучука. На рис. 2 показано, что при температуре  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  введение МУНТ приводит к повышению значения  $K_B$ . Высокие значения  $K_B$  получены при введении 0,5 масс. ч. МУНТ, обработанных УЗ-волной в течение 1 минуты и частоте 20 кГц, что соответствует изменению удельной поверхности МУНТ.

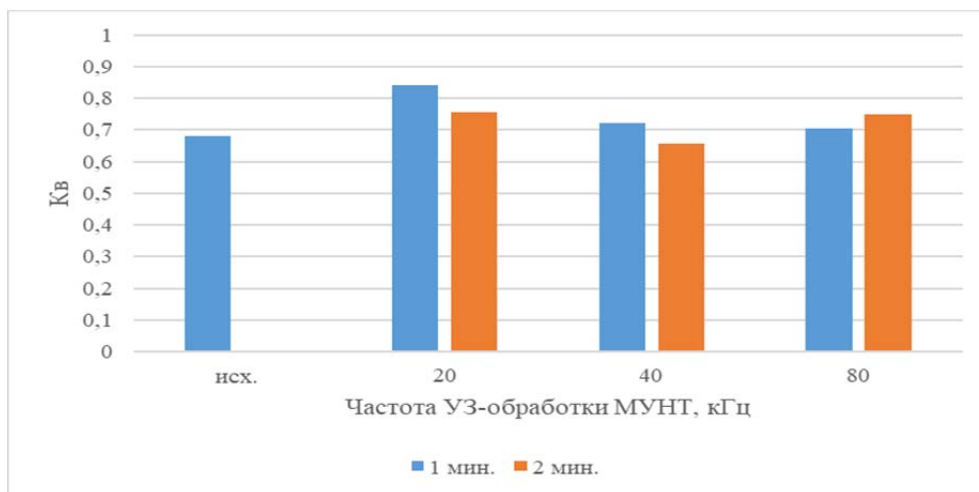


Рис. 2 Изменение коэффициент морозостойкости при  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  резин на основе ЭПХГ, содержащих 0,5 масс. ч. МУНТ после УЗ- активации в течение 1, 2 минут

Установлено, что предложенный метод «сухой» ультразвуковой обработки существенно увеличивает удельную поверхность, агломерированных многостенных углеродных нанотрубок. При активации УЗ-волны частотой 20 кГц, в течение 1 минуты  $S_{уд}$  МУНТ увеличивается на 55 %, по сравнению с исходным значением, что свидетельствует о снижении размеров агломератов МУНТ. Также, показано, что значение удельной поверхности МУНТ влияет на изменение морозостойкости резин.

### Список литературы

1. Тимофеева Е.Н. Морозостойкие эластомерные материалы на основе эписхлоргидринового каучука, наполненные углеродными нанотрубками: дис. канд. тех. наук: / Тимофеева Екатерина Николаевна. – Якутск, 2022. – 134 с.
2. Патент № 2784185 С1 Российская Федерация, МПК С08L 19/00, С08К 3/013, С08К 3/014. Морозостойкая и износостойкая резина на основе эписхлоргидринового каучука: № 2021137079: заявл. 15.12.2021: опубл. 23.11.2022 / Е.Н. Тимофеева, Н.Н. Петрова, В.В. Мухин, А.А. Дьяконов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова».

# ВКЛАД ЭЛЕКТРОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРАЕВОЙ ДИСЛОКАЦИИ В РЕЛЬЕФЕ ПАЙЕРЛСА ВО ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ

*Дежин В.В., к.ф.-м.н., доцент*  
*Воронежский государственный технический университет*  
 E-mail: viktor.dezhin@mail.ru

Метод внутреннего трения [1] позволяет изучить реальную структуру материалов, получить знания о микропроцессах, происходящих в конструкционных материалах, применяемых в машиностроении. Известно, что внутреннее трение зависит от присутствия дефектов в кристаллах, в частности от наличия дислокаций. Дислокационное внутреннее трение обусловлено различными механизмами торможения дислокаций [2]. В настоящей работе исследуется до сих пор не изученный вклад электронного торможения изгибных колебаний краевой дислокации во внутреннее трение. Заметим, что электронное торможение становится определяющим при низких температурах, поэтому данное исследование наиболее важно для материалов криогенных устройств. Известно [1, 2], что электронное затухание максимально при высоких частотах колебаний дислокации, поэтому рассмотрим коротковолновый случай  $1 \ll |k_z l| \ll k_m l$ , где  $k_z$  – компонента волнового вектора вдоль линии дислокации,  $l$  – длина свободного пробега электрона,  $k_m$  – максимальное волновое число. С использованием результатов работ [3, 4] для коротковолнового случая найдена действительная часть обратной обобщенной восприимчивости краевой дислокации, совершающей малые колебания в долине Пайерлса

$$\operatorname{Re} \alpha^{-1}(k_z, \omega) = \pi \sigma_p - \frac{\rho b^2}{4\pi} \left[ (1 + \xi^2) \omega^2 \left( \ln \frac{k_m l}{|k_z l|} - \frac{1}{2} \right) - 2 \xi \omega_i^2 (k_z l)^2 \ln \frac{k_m l}{|k_z l|} \right]. \quad (1)$$

где,  $\omega$  – частота колебаний краевой дислокации,  $\sigma_p$  – напряжение Пайерлса,  $\rho$  – плотность кристалла,  $b$  – длина вектора Бюргера,  $\xi = c_t^2 / c_l^2$ ,  $\omega_{i,l} = c_{t,l} / l$ ,  $c_t$  и  $c_l$  – скорости поперечных и продольных звуковых волн. Мнимую часть обратной обобщенной восприимчивости краевой дислокации для коротковолнового случая получим из результатов работы [5]

$$\operatorname{Im} \alpha^{-1}(k_z, \omega) = -B \omega - \left( \frac{8}{3\pi^2} - \frac{1}{6} \xi \right) \xi \rho b^2 \gamma^0 \omega |k_z l|, \quad (2)$$

где,  $B$  – коэффициент электронного затухания прямолинейной краевой дислокации [2],  $\gamma^0$  – константа, связанная с электронным затуханием звуковых волн в конкретном материале [6]. Среднюю энергию, поглощенную в кристалле за период колебаний краевой дислокации, на единицу длины дислокации находим по формуле из [7], используя выражения (1) и (2):

$$\Delta W = \pi \operatorname{Im} \alpha(k_z, \omega) (\sigma b)^2 = \pi \left( \frac{8}{3\pi^2} - \frac{1}{6} \xi \right) \xi \rho b^4 \sigma^2 \gamma^0 |k_z l| \omega / \varphi(k_z, \omega). \quad (3)$$

Здесь учтен только вклад изгибных колебаний краевой дислокации,  $\sigma$  – амплитуда внешнего переменного напряжения, действующего на краевую дислокацию,

$$\begin{aligned} \varphi(k_z, \omega) = & \left\{ \pi \sigma_p - \frac{\rho b^2}{4\pi} \left[ (1 + \xi^2) \omega^2 \left( \ln \frac{k_m}{|k_z|} - \frac{1}{2} \right) - 2 \xi \omega_i^2 (k_z l)^2 \ln \frac{k_m}{|k_z|} \right] \right\}^2 + \\ & + \left\{ B \omega + \left( \frac{8}{3\pi^2} - \frac{1}{6} \xi \right) \xi \rho b^2 \gamma^0 |k_z l| \omega \right\}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Для внутреннего трения получим

$$Q^{-1} = \frac{\Delta W}{2\pi W} \rho_d = \rho_d \theta \xi \left( \frac{8}{3\pi^2} - \frac{1}{6} \xi \right) \frac{b^4}{c_t^2} \gamma^0 |k_z l| \omega \times \left( \left\{ \pi \frac{\sigma_p}{\mu} - \frac{b^2}{4\pi c_t^2} \left[ (1 + \xi^2) \omega^2 \left( \ln \frac{k_m}{|k_z|} - \frac{1}{2} \right) - 2\xi c_t^2 k_z^2 \ln \frac{k_m}{|k_z|} \right] \right\}^2 + \left\{ \frac{B}{\mu} + \left( \frac{8}{3\pi^2} - \frac{\xi}{6} \right) \xi \frac{b^2}{c_t^2} \gamma^0 |k_z l| \right\}^2 \omega^2 \right)^{-1}, \quad (5)$$

где  $W = \sigma_0^2 / (2\mu)$  – общая колебательная энергия на единицу объема кристалла,  $\sigma_0$  – амплитуда внешнего переменного напряжения в кристалле,  $\mu$  – модуль сдвига кристалла,  $\rho_d$  – плотность краевых дислокаций в кристалле,  $\theta = \sigma^2 / \sigma_0^2$  – ориентационный фактор краевых дислокаций в кристалле. С использованием формулы (5) построены графики зависимости внутреннего трения от частоты изгибных колебаний краевой дислокации для кристалла алюминия при двух значениях компоненты волнового вектора вдоль линии краевой дислокации (рис. 1). При построении графиков использованы значения:  $\rho_d = 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ,  $\theta = 0.5$ ,  $c_t = 3130 \text{ м/с}$ ,  $c_l = 6400 \text{ м/с}$ ,  $b = 2.86 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $\gamma^0 = 1.33 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ ,  $l = 10^{-7} \text{ м}$ ,  $\sigma_p / \mu = 5 \cdot 10^{-5}$ ,  $k_m = 10^{10} \text{ м}^{-1}$ ,  $B / \mu = 5.28 \cdot 10^{-17} \text{ с}$ .

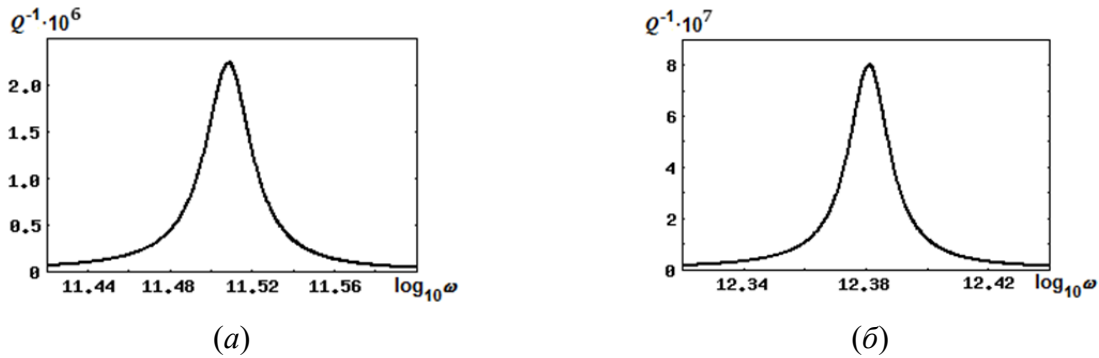


Рис. 1. Частотная зависимость внутреннего трения, вызванного электронным торможением изгибных колебаний краевой дислокации для (а) –  $k_z = 10^8 \text{ м}^{-1}$  и (б) –  $k_z = 10^9 \text{ м}^{-1}$

В итоге получены следующие результаты:

- установлено присутствие пика внутреннего трения резонансного типа в коротковолновой области;
- при уменьшении длины изгибной волны пик внутреннего трения уменьшается и смещается вправо по частоте.

### Список литературы

1. Blanter M.S., Golovin I.S., Neuhäuser H., Sinning H.-R. Internal friction in metallic materials. – Berlin: Springer-Verlag, – 2007. – 539 p.
2. Alshits V.I., Indenbom V.L., Mechanisms of dislocation drag // Dislocations in solids. Vol. 7. – Amsterdam: Elsevier, 1986. – P. 43–111.
3. 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.
4. Батаронов И.Л., Дежин В.В. Обобщенная восприимчивость и колебания дислокации в рельефе Пайерлса // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 500–505.
5. Dezhin V.V. On damping of an edge dislocation vibrations in a dissipative crystal: limiting cases // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 936. – P. 012062.
6. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел. – М.: Наука, 1967. – 492 с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика. Ч. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 616 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ЦИРКОНИЯ

Кузьменко Е.Д.<sup>1</sup>, Матренин С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, ИШНПТ, 4БМ31

E-mail: edk10@tpu.ru;

<sup>2</sup>ТПУ, ИШНПТ, доцент

E-mail: msv@tpu.ru

Для повышения производительности в области обработки материалов необходимо применение новых инструментальных материалов. Инструментальный материал должен иметь высокую твердость и сохранять свои механические свойства при нагреве в процессе резания. В связи с этим применение керамик, с высокими значениями твердостей и высокими температурами плавления, в качестве инструментальных материалов является перспективным [1, 2].

В работе исследуются керамики на основе карбида и нитрида циркония, спеченные методом горячего прессования. Были подготовлены следующие исследуемые составы керамик: ZrC, ZrN, 50 % мас. ZrC – 50 % мас. ZrN, 33 % мас. ZrC – 33 % мас. ZrN – 33 % мас. ZrO<sub>2</sub>.

Для инструментальных керамик выделяется важный критерий качества – пористость. Пористость исследуемых материалов была определена на основании данных истинной и кажущейся плотности, при этом истинная плотность была определена по правилу аддитивности, рис. 1.

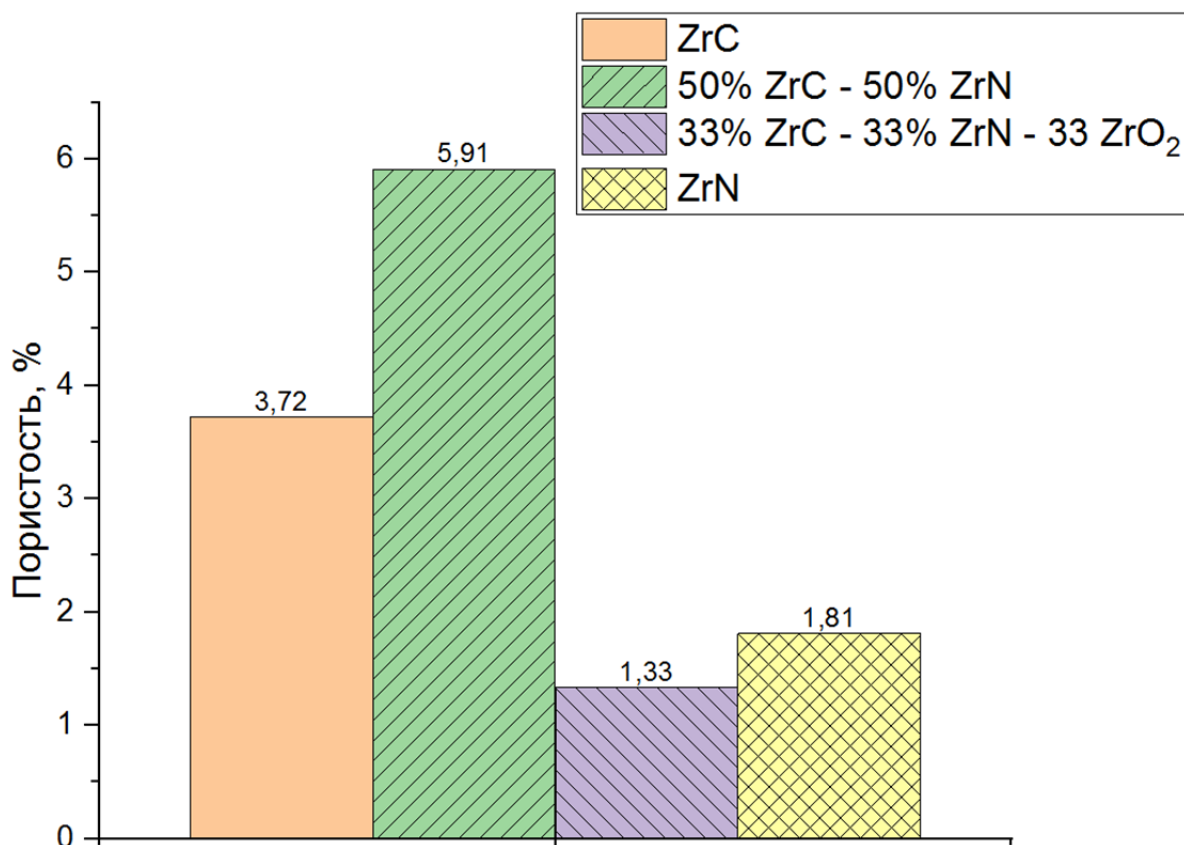


Рис. 1. Пористость исследуемых образцов

Среди исследуемых составов наименьшей пористостью обладает тройная керамика. Значение пористости для данного образца составило 1,33 %.

Микрофотография поверхности, для данного образца выполненная при помощи растровой электронной микроскопии в топографическом режиме приведена на рис. 2.

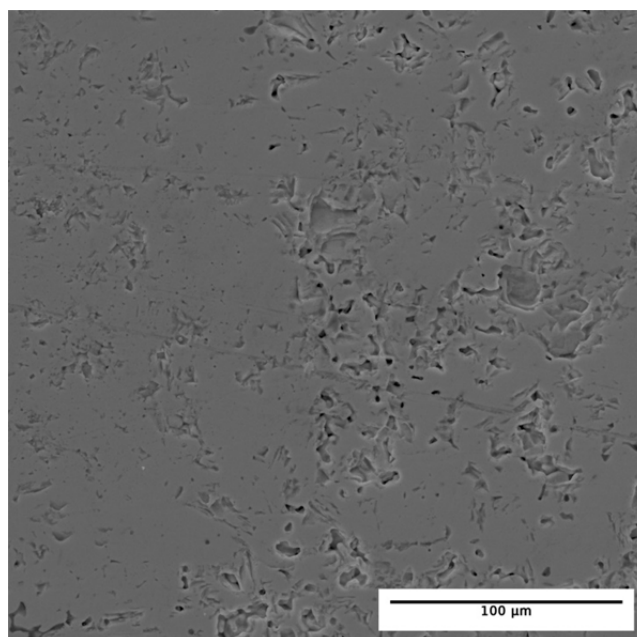


Рис. 2. Микрофотография поверхности образца 33 % мас. ZrC – 33 % мас. ZrN – 33 % мас. ZrO<sub>2</sub>

Для исследуемых составов керамики были определены твердости на приборе ПМТ-3. Твердости определялись по Виккерсу. Данные представлены на рисунке 3.

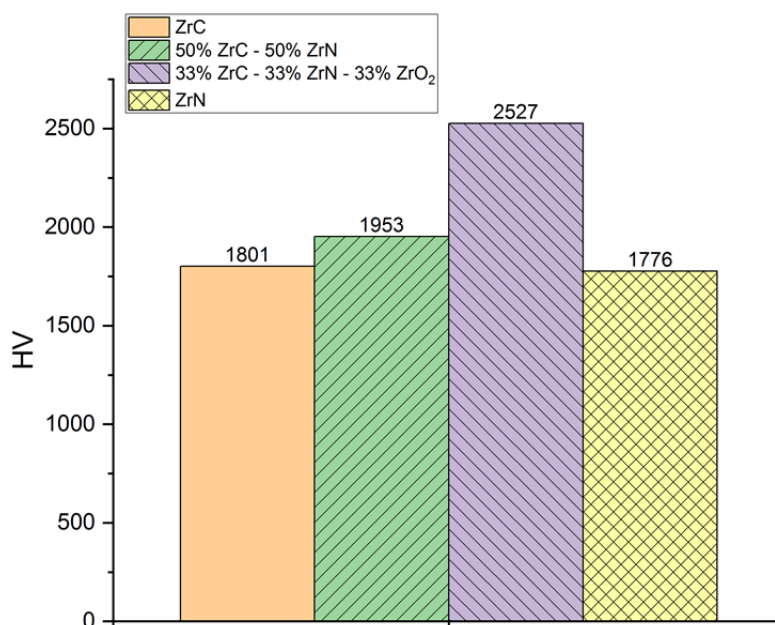


Рис. 3. Твердость исследуемых образцов

Среди исследуемых составов керамики наибольшей твердостью обладает тройная керамика состава 33 % мас. ZrC – 33 % мас. ZrN – 33 % мас. ZrO<sub>2</sub>. Для исследуемого материала твердость составила 2527 HV. Совокупность малой пористости данной керамики с высокой твердостью делает данный материал перспективным для применения в качестве инструментального.

### 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.
2. Чернышев А.Ю., Тюльдюков А.Ю. Инструментальные стали, применяемые для изготовления резьбообразующего инструмента // *Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности*. – 2018. – С. 167–168.

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ФЕРРАТА НАТРИЯ МЕТОДАМИ 3D-ПЕЧАТИ

Шарафутдинова Г.Р.<sup>1</sup>, Петкова А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет, аспирант кафедры материаловедения  
и технологии художественных изделий,

E-mail: grsharafutdinova@yandex.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет, профессор кафедры материаловедения  
и технологии художественных изделий,

E-mail: apetkova@inbox.ru

## Аннотация

Рассмотрены особенности процесса электрохимического получения феррата натрия для производства феррата на месте последующего применения. Спроектированы и напечатаны две электролизные ячейки с использованием аддитивных технологий с применением ABS-пластика и армированный стекловолокном полипропилен.

## Введение

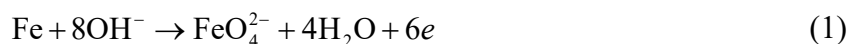
Альтернативные хлору и озону способы очистки воды активно исследуются в настоящее время [1]. Феррат натрия обладает высокой окислительной способностью, а также свойствами коагуляции и дезинфекции. Благодаря своему действию феррат натрия может быть использован в качестве средства для очистки и доочистки воды от тяжелых металлов, органических веществ, отходов фармацевтического профиля и болезнетворных бактерий.

Ввиду высокой окислительной способности, шестивалентное железо быстро переходит в трехвалентное, что осложняет процесс хранения и транспортировки для дальнейшего использования.

Феррат можно синтезировать химическими или электрохимическими методами. Химические методы основаны на контакте соединений железа, таких как нитрат железа (III) и оксид железа, с окисляющим материалом либо в щелочной среде – мокрый способ, либо при экстремальных температурах в контролируемой атмосфере – сухой способ [2, 3]. Электрохимический метод основан на электрохимическом окислении различных источников железа до феррата. По сравнению с другими методами получения феррата (VI) электрохимический метод имеет ряд преимуществ, таких как простота в эксплуатации, безопасность и отсутствие гипохлорита [4].

Основной принцип электрохимического производства показан в уравнениях 1–4 [2].

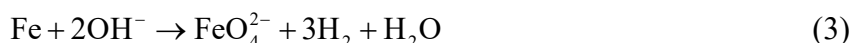
Анодная реакция:



Катодная реакция:



Общие реакции:



Электрохимическое мембранное получение феррата натрия позволит производить реагент на месте последующего применения. Процесс осуществляется в электролизной ячейке с использованием катода, расходоуемого анода в среде щелочного электролита с разделительной мембраной.

## Материалы и методы исследования

Электрохимический процесс получения феррата натрия обладает технологическими особенностями, которые необходимо учесть при проектировании и создании электролиз-



ной ячейки. Одной из таких особенностей является выделение кислорода в анодной области и водорода в катодной. Необходимо предусмотреть отвод этих газов во избежание смешения с последующим образованием взрывоопасной смеси.

Другой особенностью процесса является истощение щелочи в анодной области и увеличение концентрации щелочи в катодной области, что ведет к затуханию электрохимического процесса и разложению полученного феррата. Для учета этой особенности необходимо предусмотреть систему подачи новой щелочи в анодную область и забора из катодной.

При проведении электрохимического процесса на аноде образуется пассивирующий слой, формирующий барьер для протекания реакции, необходимо разработать систему рециркуляции электролита для снятия защитной оксидной пленки [5].

Для ускорения цикла проектирование-изготовление-испытание-внесение изменений в ячейку и создания масштабируемой модели корпуса реактора различной производительности и компоновки был использован метод 3D-печати. Исходя из особенностей процесса получения феррата натрия было разработано несколько конфигураций электролизной ячейки. Обе ячейки были спроектированы в программе КОМПАС-3Д.

Первая ячейка была распечатана из технической термопластической смолы на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (ABS-пластика) фирмы Res на принтере HERCULES, диаметр сопла 0,5 мм, температура печати 265 °С. Ванна имеет внешний размер 10x10x10 см и состоит из двух катодных камер и одной анодной камеры под два анода (рис. 1). Предусмотрено разделение камер мембраной, вставленной в пластиковую рамку. Пазы для анода, катода и мембраны расположены в боковых частях камеры и на дне. Расстояние между мембраной и анодом (катодом) определяется толщиной рамок для крепления мембраны, анодов и катодов (7-10 мм) и выбирается минимально возможным для обеспечения циркуляции анолита между мембраной и анодом. Также на дне предусмотрены каналы для проведения рециркуляции. В крышке расположены отверстия для извлечения и замены расходуемого анода, а также выводы для водорода из катодной и кислорода из анодной камер.

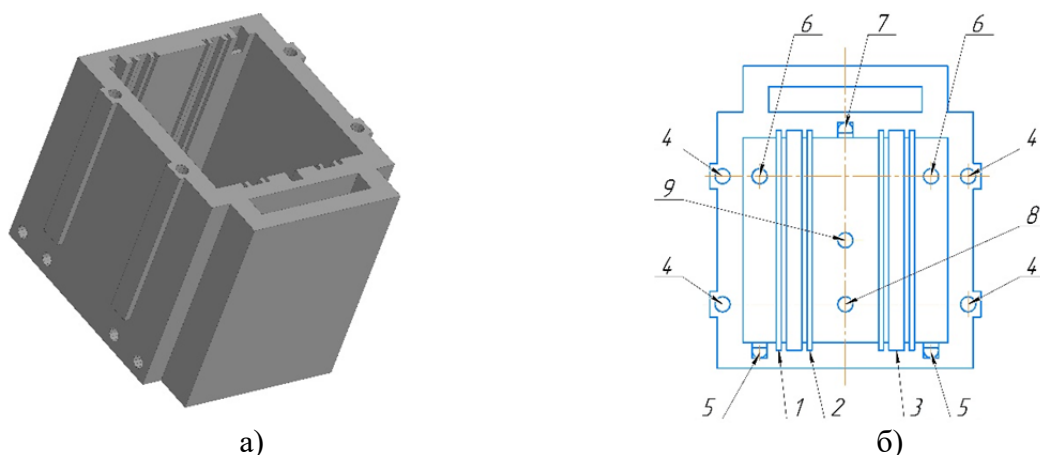


Рис. 1. Электролизная ячейка: а – модель ячейки; б – основные элементы, обеспечивающие проведение процесса (1 – паз для катода; 2 – паз для анода; 3 – паз для рамки с мембраной; 4 – разъемы для крепления крышки; 5 – выходы для щелочи из катодных камер; 6 – места подачи новой щелочи в катодные области; 7 – выход для обедненного раствора щелочи из анодной области; 8 – место подачи новой щелочи в анодную область; 9 – место забора готового раствора феррата натрия). [составлено авторами]

ABS-пластик химически стоек в щелочном растворе электролита и хорошо подходит для печати изделий небольшой величины. При 3D-печати верхние и нижние слои охлаждаются с разной скоростью, в результате возникает усадка и деформация, что чревато проблемами с размерной точностью и сопоставлением деталей. Чем больше по размеру деталь, тем сильнее усадка влияет на конечный продукт. Поэтому в качестве материала для второго варианта ячейки (рис. 2) был выбран армированный стекловолокном полипропилен, который позволяет снизить усадку с 6 % до 0,2 %. Полипропиленовая нить, армированная коротким



стекловолокном, демонстрируют значительно улучшенные возможности печати благодаря существенному уменьшению усадки и коробления, а также повышению прочности и жесткости [6]. Была выбрана полипропиленовая нить, армированная коротким стекловолокном марки Nova PPGF производства фирмы Novaprint 3D. Печать осуществлялась на принтере Sapphire S от производителя TWO TREES. Температура сопла составляла 270 °С, температура стола – 95 °С. Толщина слоя равна 0,2 мм, при диаметре сопла 0,8 мм.

Корпус ячейки выполнен из полипропилена при помощи 3D-печати, толщина стенок от 5 до 10 мм. Внутренний размер составил 90×80×85 мм с пазами глубиной 5 мм, шириной 6,5 мм для фиксации и быстрой замены рамок с анодами и катодами. Корпус содержит две боковых катодных и одну анодную камеру посередине, с пазами для двух пар анод-катод. Расстояние между анодом и мембраной составляет 10 мм. Эффективный объем одной катодной камеры 144 см<sup>3</sup>, двух камер – 288 см<sup>3</sup>, эффективный объем анодной камеры до перелива на уровне 75 мм – 286 см<sup>3</sup>. Рециркуляционные каналы для католита и анолита расположены в днище корпуса и боковых стенках (до уровня перелива) корпуса ячейки. Фитинги фирмы Samozzi выполнены из полипропилена (уплотнение EPDM), трубки рециркуляционного контура выполнены из фторопласта.

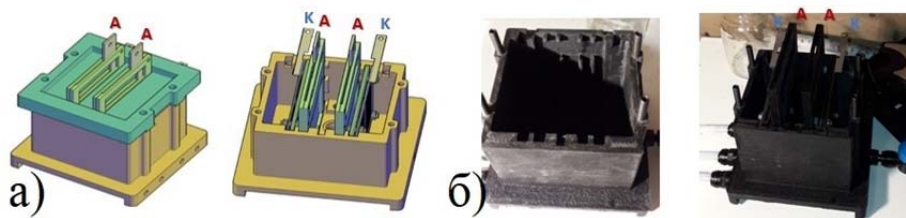


Рис. 2. Полупромышленный вариант проточного реактора:  
а – 3D-модель; б – ячейка из полипропилена, армированного стекловолокном.  
[составлено авторами]

## Вывод

Был проведен ряд экспериментов в полупромышленном образце проточного реактора. При проведении экспериментов материал ячейки не был поврежден электролитом и получившимся ферратом натрия. Предусмотренные конструктивные особенности были оправданы. Применение рециркуляции позволило получить больший выход феррата по сравнению с непроточным режимом.

Использование аддитивных технологий обеспечило простой и надежный способ изготовления электролизной ячейки с низкой себестоимостью и высокой степенью автоматизации. 3D-печать позволяет вносить необходимые изменения в конструкцию электролизера и масштабировать ячейку под заданную производительность.

## Список источников

1. Cheremisina O. et al. Application of the organic waste-based sorbent for the purification of aqueous solutions // Water. – 2021. – Т. 13. – № 21. – С. 3101.
2. Alsheyab M., Jiang J.Q., Stanford C. On-line production of ferrate with an electrochemical method and its potential application for wastewater treatment—A review // Journal of Environmental Management. – 2009. – Т. 90. – № 3. – С. 1350–1356.
3. Diaz M. et al. Towards in situ electro-generation of ferrate for drinking water treatment: A comparison of three low-cost sacrificial iron electrodes // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2021. – Т. 880. – С. 114897.
4. He W. et al. The rapid electrochemical preparation of dissolved ferrate (VI): Effects of various operating parameters // Electrochimica Acta. – 2006. – Т. 51. – № 10. – С. 1967–1973.
5. Аракчеев Е.Н. и др. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – № 3. – С. 216-222.
6. Shulga E. et al. Fused filament fabricated polypropylene composite reinforced by aligned glass fibers // Materials. – 2020. – Т. 13. – № 16. – С. 3442.

# МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА НИКЕЛЯ

*Леонова Е.С., Кенжиев А., Курдюмов Н.*  
*НИ Томский политехнический университет, ИЯТШ, 0Б11*  
E-mail: esl24@tpu.ru

## **Введение**

В настоящие дни существует проблема глобального потепления, его причиной является деятельность людей, а именно: при сжигании ископаемого топлива в атмосферу выбрасывается углекислый газ  $\text{CO}_2$ , он приводит к возникновению парникового эффекта и перегреву планеты. Защита окружающей среды имеет первостепенное значение, для развития и роста нации. Поэтому, серьезную актуальность, приобрела разработка альтернативных источников энергии, которые смогут решить данную проблему. Водород как энергоноситель является наиболее перспективным дополнением источникам энергии, полученным на основе ископаемого топлива, так как обладает высокой топливной эффективностью (141,7 МДж/кг) и экологичностью (продуктом сгорания является вода). Гидриды металлов, в частности гидрид магния  $\text{MgH}_2$ , являются перспективным методом хранения водорода. Такой метод отличается доступностью, объемной плотностью (109 г  $\text{H}_2$ /л) и высокой емкостью (7,6 масс %). В результате механохимического синтеза гидрида магния совместно с наноразмерным порошком никеля, полученного методом электровзрыва проводников, был получен композит. В связи с этим проводилось исследование метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного анализа, с помощью чего было показано, что композит представляет собой структуру типа ядро-оболочка, где крупные частицы гидрида магния  $\text{MgH}_2$  покрыты наноразмерными частицами никеля.

## **Основная часть**

В настоящие дни существует проблема глобального потепления, его причиной является деятельностью людей, а именно: при сжигании ископаемого топлива в атмосферу выбрасывается углекислый газ  $\text{CO}_2$ , он приводит к возникновению парникового эффекта и перегреву планеты. Защита окружающей среды имеет первостепенное значение для развития и роста нации. Поэтому серьезную актуальность приобрела разработка альтернативных источников энергии, которые смогут решить данную проблему.

Что же касается хранения водорода – это сложный, а потому дорогой процесс из-за очень низкой плотности водорода как в газообразном ( $\sim 0,09 \text{ кг/м}^3$ ), так и в жидком ( $\sim 70 \text{ кг/м}^3$ ) состоянии, низкой температуры его сжижения, а также высокой взрывоопасности в сочетании с негативным воздействием на свойства конструкционных материалов.

Способы хранения водорода можно разделить:

- 1) физические – в сжатом или сжиженном состоянии;
- 2) физико-химические – в первую очередь в адсорбированном состоянии;
- 3) химические – в связанном состоянии в металлгидридах.

К настоящему времени освоена широкомасштабная промышленная реализация физических методов: газобаллонного и криогенного. Другие же методы являются перспективными, находясь на стадии технологических разработок либо мелкомасштабного производства. Кроме того, в различных областях применение водорода предъявляются различные требования к системе его хранения. В связи с этим, исследования в направлении разработки эффективных способов хранения водорода являются актуальными.

Известно, что одним из перспективных материалов для хранения водорода является гидрид магния  $\text{MgH}_2$ , обладающий высоким массовым (7,6 масс %  $\text{H}_2$ ) и объемным (110 г  $\text{H}_2$ /л) содержанием водорода.

Водород как энергоноситель является наиболее перспективным дополнением источникам энергии, полученным на основе ископаемого топлива, так как обладает высокой топливной эффективностью (141,7 МДж/кг) и экологичностью (продуктом сгорания является вода).

Разработка безопасного, эффективного и экономичного способа хранения водорода – необходимый шаг на пути к получению конкурентоспособного вида топлива.

Гидриды металлов, в частности гидрид магния  $MgH_2$ , являются перспективным методом хранения водорода. Такой метод отличается доступностью, объемной плотностью (109 г  $H_2$ /л) и высокой емкостью (7,6 масс %).

Однако, стоит отметить, что гидрид магния имеет высокую температуру сорбции и десорбции и низкую скорость протекания данных процессов. Это связано с ограниченной скоростью диссоциации молекул водорода на поверхности, наличием оксидного слоя и низкой подвижностью водорода в гидридной фазе. И для того, чтобы извлечь водород требуется приложить большую энергию. Поэтому необходимо разработать методику по снижению энергии активации десорбции водорода.

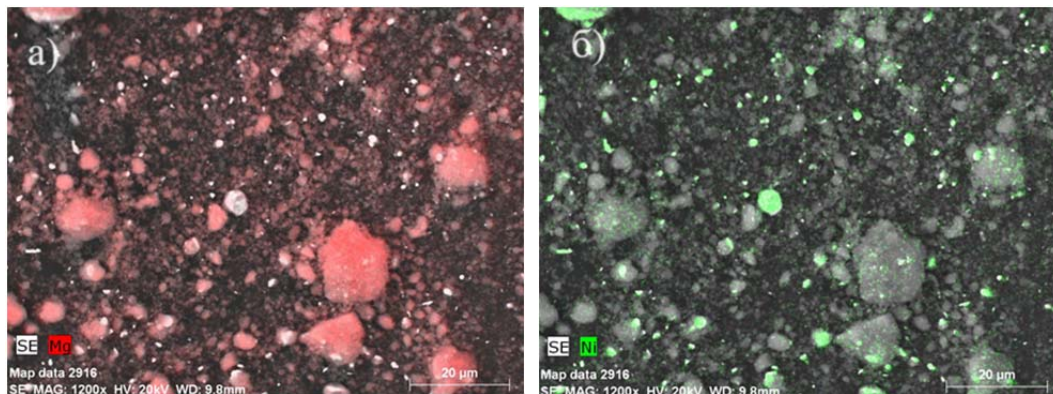


Рис. 1. SEM изображение: а) магния в композите, б) порошка никеля в композите

Одним из направлений является синтез композитов на основе гидрида магния и каталитических добавок, которыми могут выступать металлы и их оксиды. Метод электрического взрыва проводников (ЭВП) является одним из перспективных методов для получения каталитических добавок к гидриду магния.

Одним из таких методов является синтез гидрида магния с порошком никеля, полученного электрическим взрывом проводника (ЭВП) – процессом взрывного разрушения проволоки под действием тока с плотностью ( $> 1010$  А/м<sup>2</sup>). При высокой плотности вводимой энергии материал проволоки трансформируется в наночастицы. Характеристики данного метода: длительность импульса тока и мощность взрыва.

### Заключение

В результате механохимического синтеза гидрида магния совместно с наноразмерным порошком никеля, полученного методом электровзрыва проводников, был получен композит. С помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного анализа было показано, что композит представляет собой структуру типа ядро-оболочка, где крупные частицы гидрида магния  $MgH_2$  покрыты наноразмерными частицами никеля.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-01280), а также в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

### Список литературы

1. Борисов Д.Н. Водород-аккумулирующие сплавы и композиты на основе магния // ISJAEЕ. – 2008. – С. 33–38.
2. Можжухин С.А., Арбузов А.А., Тарасов Б.П. Влияние добавок восстановленного оксида графита и никеля на процесс обратимого гидрирования магния // ISJAEЕ. – 2015. – С. 78.
3. Middeli A., Dincer I. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2007. – 32, No.5. – P. 511–524.
4. Фурсиков П.В., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Можжухин С.А., Арбузов А.А., Лапшин А.Н., Ходос И.И., Тарасов Б.П. Микроструктура водородсорбирующих композитов на основе эвтектического сплава магния с никелем // ЖПХ. – 2022. – 95, № 8. – С. 1006–1010.

# FABRICATION AND OPTIMIZATION OF LA-FE-SI ACTIVE MAGNETIC REGENERATOR WITH PARALLEL WIRE GEOMETRY

Zhang R.C.<sup>1</sup>, Zhang X.X.<sup>2</sup>, Qian M.F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shenyang Ligong University,

E-mail: zhangrc@syu.edu.cn

<sup>2</sup>Harbin Institute of Technology,

E-mail: xxzhang@hit.edu.cn, mingfang.qian@hit.edu.cn

In this report, several batches of one-dimensional small-sized La-Fe-Si alloy microwires have been primarily prepared by melt-extraction method. Therefore, the disadvantages of La-Fe-Si bulk alloy, like long annealing time, high hysteresis loss, poor machinability and heat transfer ability have been solved by using the characteristics of small-sized material, and the practicability in magnetic refrigeration area has also been enhanced. For preliminarily optimizing the geometric parameters of microwires, a one-dimensional passive regenerator model with parallel wire geometry based on the establishment of one-dimensional microwire physical model has been built in Matlab to calculate the viscous resistance, heat transfer capacity and axial dispersion. On this basis, the geometrical parameters of microwires were optimized and the extraction parameters were optimized focusing on the different compositions of La-Fe-Si microwires, as shown in Fig. 1 (a)–(e). Besides, the microstructure and magnetic-field driven phase transition were adjusted by heat treatment process and the microwires which could meet the property requirements of parallel wire active magnetic regenerator were obtained. Finally, a model of active magnetic regenerator with parallel wire geometry was built in Matlab comprehensively in this thesis and the cooling performances of La-Fe-Si microwires which could meet requirements have been optimized by this model.

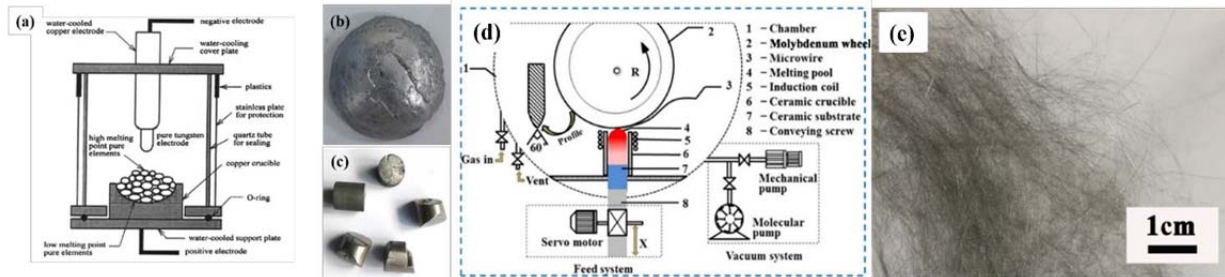


Fig. 1. Schematic diagram of (a) arc melting furnace and (d) melt-extraction technique, and the prepared La-Fe-Si (b) master ingot and (e) microwires

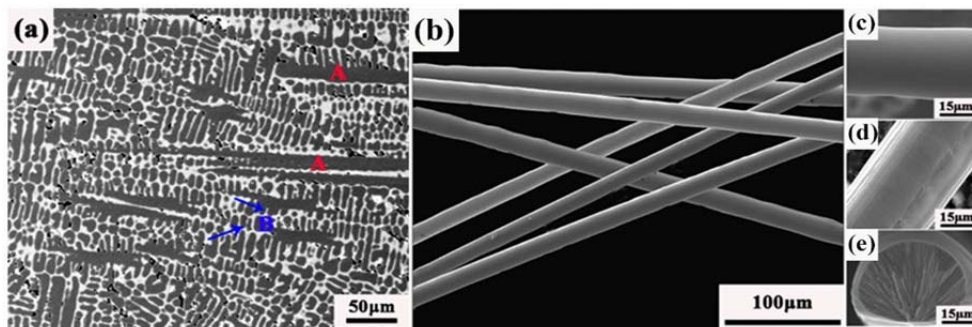


Fig. 2. (a) Microstructures of master ingots and (b)-(e) morphologies of melt-extracted La-Fe-Si microwires

The study showed that the geometrical parameters were optimized to be 0.03–0.05 mm and the extraction parameters were closely correlated to the compositions of the La-Fe-Si microwires. When the Si content of La-Fe-Si microwires was low, the master alloy of microwires were not required to be homogenized in advance. After optimization, the heating power was 21 kW, the rotation speed of wheel was 1600 r/min, and the feed rate was 50–80 r/min. The microwires were with diameters of 0.03–0.04 mm and lengths of 4–5 cm. When Si content of La-



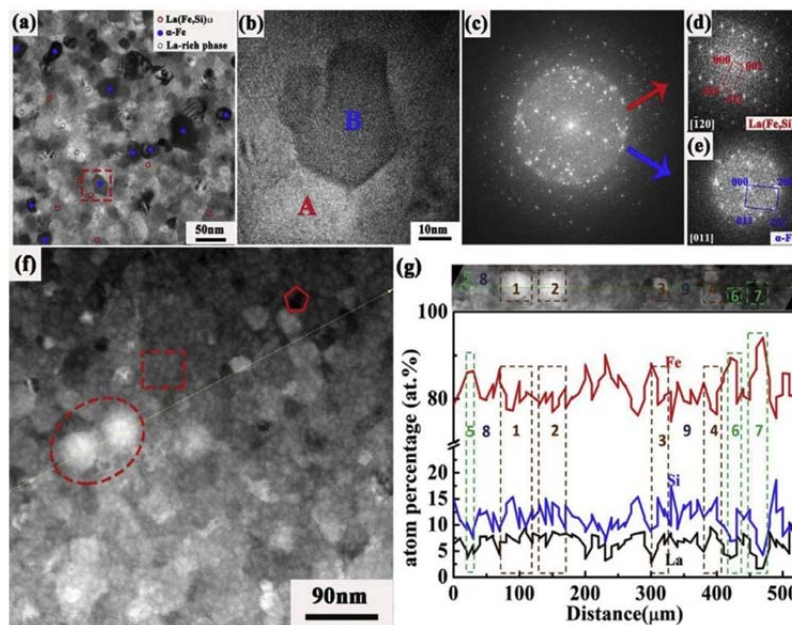
Fe-Si microwires was high, the master alloy needed to be homogenized before melt extraction, otherwise the high-quality microwires could not be fabricated. After optimization, the heating power was 22 kW, the rotation speed of wheel was 1700 r/min, and the feed rate was 30–50 r/min. The microwires were with diameters of 0.03–0.05 mm and lengths of 10–20 cm, as shown in Fig. 2, *a–e* and Table 1.

Plenty of nanoscale La-rich and  $\alpha$ -Fe phases were found to be distributed alternatively in as-extracted LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> microwires, and a few nanoscale La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases were also found in the microstructure, as shown in Fig. 3, *a–g*. After the adjustment of heat treatment process, the annealing time of LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> was shortened to 5 min from several weeks. It was reasonable to deduct that the alternatively distributed nanoscale La-rich and  $\alpha$ -Fe phases could provide large amounts of interfaces for peritectic reaction and the nanoscale La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases could also provide plenty of nucleation sites for the formation of La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases, as a result, the peritectic reaction was able to be basically finished in 5 minutes at 1353 K. Similarly, the annealing time of LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> microwires was shortened to 20 min at 1373 K, as shown in Fig. 4, *a–c*. However, although the rapid formation of La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases could also be achieved by peritectic reaction, it needed a longer time to homogenize the compositions of La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases due to a great amount of pre-exist La (Fe, Si)<sub>13</sub> phases in as-extracted LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> microwires.

Table 1

*Melt-extraction parameters and dimensions of as-extracted microwires*

Melt-extraction parameters			Dimensions of microwires	
Heating power (kW)	Feeding rate ( $\mu\text{m/s}$ )	Rotation rate (r/min)	Diameter (mm)	Length (cm)
21	60–80	1600	0.030 $\pm$ 0.010	4–5
21.5	50–60	1600	0.035 $\pm$ 0.015	5–8
23	50–60	1600	0.036 $\pm$ 0.010	5–8
22	30–50	1700	0.050 $\pm$ 0.012	10–20
22	50–80	1600	0.040 $\pm$ 0.012	4–6



*Fig. 3. Microstructure of the as-extracted microwire at wheel-contact surface (WCS) areas. a) High-resolution TEM (HRTEM) micrograph showing nano-grains with diameter~20 nm. (b) High magnification image of the area marked by frame in (a), which are confirmed to be La (Fe, Si)<sub>13</sub> and  $\alpha$ -Fe by (c)(e) Fourier Transform patterns. (f) High-Angle Annular Dark Field (HAADF) micrograph showing the elemental distribution in the microwire. (g) Line scan data of the yellow line in (f), where region 1–4 are La-rich phase, region 5–7 are  $\alpha$ -Fe phase, region 8–9 are La (Fe, Si)<sub>13</sub> phase*

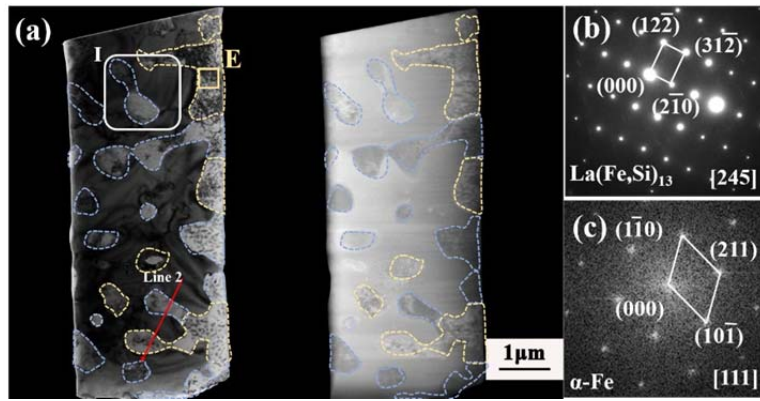


Fig. 4. (a) Bright-field TEM image, (b) the corresponding HAADF image and (c) electron diffraction analysis of LFS1 microwires annealed at 1353K for 5min

The LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> microwires annealed at 1353K for 5min exhibited a weak first-order transition character and negligible thermal hysteresis. After calculation by Landau theories, the energy barrier needed to be overcome during the first-order transition was only 1.8 kJ/mol. This value was much smaller than those of La-Fe-Si bulk alloy and ribbon, and thus the first-order character of LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> microwire was sluggish. The LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> microwires annealed at 1373 K for 20 min displayed a second-order transition character. With an extension of annealing time, the microstructural evolution was basically divided into two stages, which were the formation of La (Fe, Si)<sub>13</sub> phase and the homogenization of La (Fe, Si)<sub>13</sub> phase. After annealed at 1353K for 5 min, the LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> microwires exhibited a high magnetic entropy change of 9.0 J/kg.K, a working temperature range of 13 K and a refrigeration capacity of 97.9 J/kg under 2 T. For the LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> microwires annealed at 1373K for 20 min, a magnetic entropy change of 6.2 J/kg.K, a working temperature range of 33 K and a refrigeration capacity of 154.0 J/kg were obtained under 2 T, as shown in Fig. 5 (a)–(b). After the validation of simulation, the magnetocaloric effect of both microwires could meet the property requirements of parallel wire active magnetic regenerator.

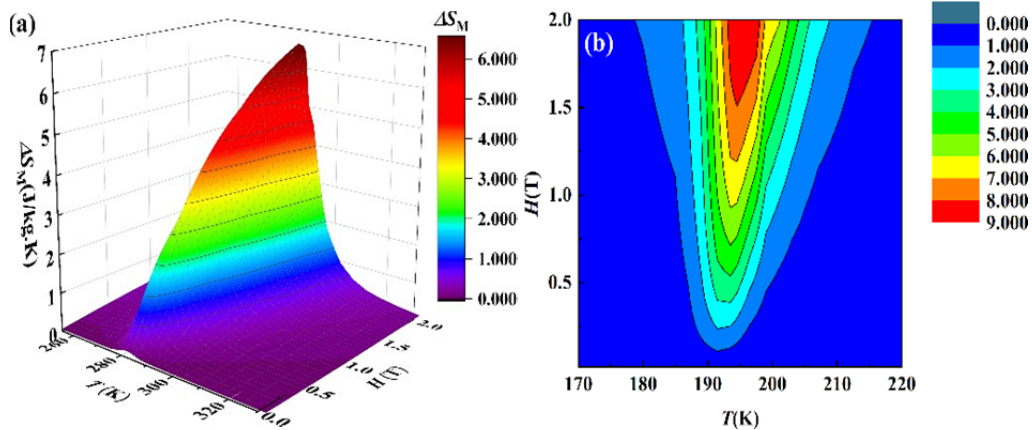


Fig. 5. (a) Magnetic entropy curves of LFS1-1353K-5min at a magnetic field range of 0T-2T and (b) a temperature range of 170K-240K

Finally, one-dimensional parallel wire active magnetic regenerator model was built by Matlab, which was used to optimize the cooling performances of both microwires, as shown in Fig. 6 (a) – (b). It was found that the arrangement of microwires and flow direction of working fluid had great effects on the cooling performances of regenerator. Compared with triangular array, the square array produced less viscous dissipation but weaker heat transfer ability. Furthermore, when both arrays worked in parallel flow, they were able to exhibit stronger heat transfer ability and lower viscous dissipation simultaneously and thus were predicted to generate higher cooling performance. Moreover, the cooling power and coefficient of performance of two parallel wires geometries were both affected by the aspect ratio of regenerator and working

conditions like temperature span, working frequency, the hot temperature and cold temperature of regenerator. When the working frequency was 2 Hz and the temperature span was 10 K, the cooling performances of LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> and LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> parallel wire geometry were optimized. For LaFe<sub>11.7</sub>Si<sub>1.3</sub> parallel wire geometry, the cooling power and coefficient of performance were optimized to be 126.35 W and 4.57. For LaFe<sub>11.2</sub>Si<sub>1.8</sub> parallel wire geometry, the cooling power and the coefficient of performance were optimized to be 120.88 W and 2.17, as presented in Fig. 7 and Fig. 8.

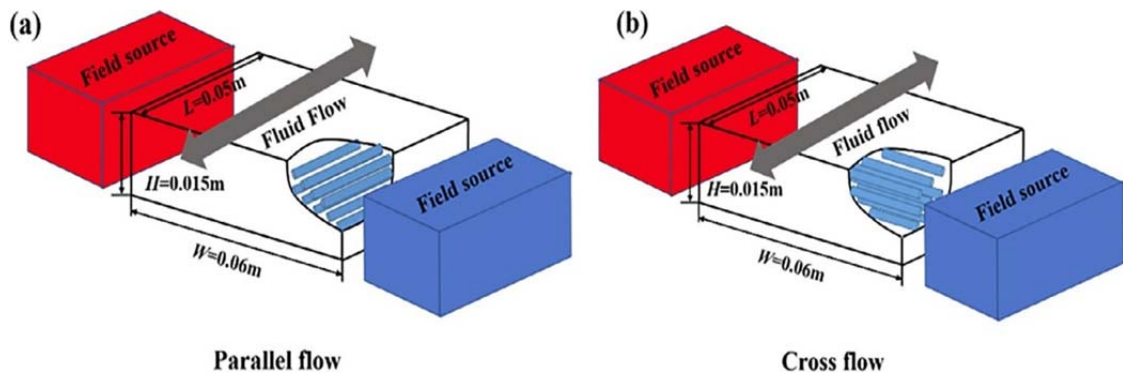


Fig. 6. Sketch of the relative locations between the modeled regenerator cassette containing parallel wires and magnetic field source in two flow patterns. (a) Parallel flow (b) Cross flow

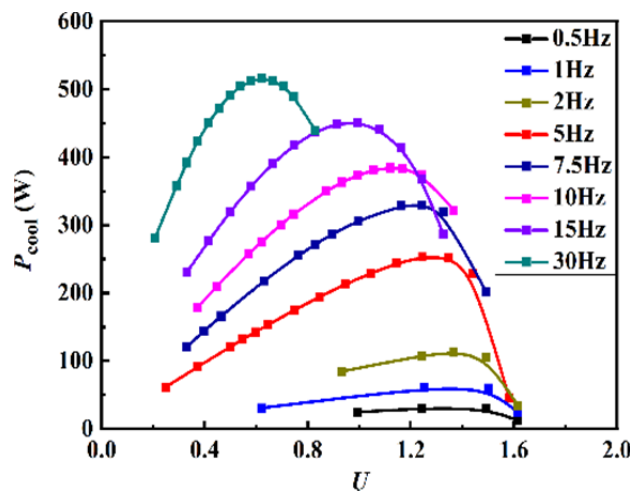


Fig. 7. Dependence of  $P_{cool}$  on  $U$  for AMR with square array when working in parallel flow at working frequencies of 0.5 Hz-30 Hz

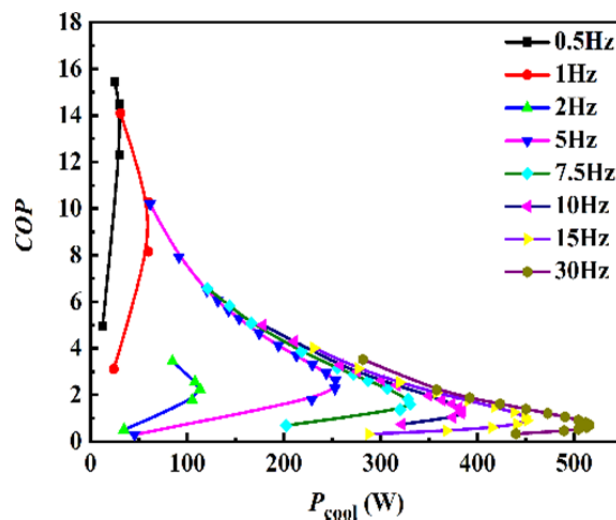


Fig. 8. Dependence of  $P_{cool}$  on COP for AMR at working frequencies of 0.5 Hz-30 Hz



## ЛАМИНИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ Nb/Ti<sub>3</sub>Al(Si)C<sub>2</sub>-TiC: МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И МИКРОСТРУКТУРА

Абдульменова А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, ОБМЗ1,

E-mail: ava75@tpu.ru

МАХ-фазы и композиты на их основе представляют сравнительно новый класс материалов, описываемый общей формулой  $M_{n+1}AX_n$ , где М – переходный металл, А – металл IIIA или IVA периодической таблицы, Х – углерод или азот,  $n=1-3$ . Они обладают уникальными свойствами металлов и керамики, такими как высокая температура плавления, малая плотность, высокая прочность и коррозионная стойкость, высокая тепло- и электропроводность [1]. Несмотря на их высокие прочностные свойства при высоких температурах, применение таких композитов в промышленности ограничено из-за их макроскопической хрупкости при низких температурах. Существуют разные подходы для повышения трещиностойкости и улучшения механических свойств материалов [2]. Одним из способов является создание металл/керамических слоистых композитов. Для получения таких композитов был предложен подход, основанный на применении прекерамических бумаг с порошковым наполнителем и металлических фольг из пластичного тугоплавкого металла (ниобия). Для снижения взаимодействия между слоями металла и керамики может быть использован метод искрового плазменного спекания, обеспечивающий высокоскоростной синтез плотных композитов [2]. Целью настоящей работы являлось установление влияния длительности искрового плазменного спекания на микроструктуру и деформационное поведение металл/керамических композитов, полученных из прекерамических бумаг с порошковым наполнителем из МАХ-фазы Ti<sub>3</sub>Al(Si)C<sub>2</sub> и металлических фольг ниобия.

Исходное сырье представляет собой многослойный материал с чередующимися слоями прекерамической бумаги на основе МАХ-фазы Ti<sub>3</sub>Al(Si)C<sub>2</sub> (ТАС) и металлической фольги Nb. Прекерамическая бумага была изготовлена с помощью бумагоделательной машины D7 (Sumet Systems GmbH). Подготовленные бумаги имели следующий состав: 7,3 масс. % волокон целлюлозы, 87 масс. % порошка Ti<sub>3</sub>Al<sub>0,75</sub>Si<sub>0,25</sub>C<sub>2</sub>, 3 масс. % порошка Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 2,7 масс. % добавок для удержания. Фольги Nb укладывались через каждый слой ТАС так, чтобы общее количество слоев составляло 21, а внешние слои были слоями ТАС. Спекание подготовленных стеков проводилось на установке Advanced Technology SPS 10-4 при T = 1250 °C, P = 50 МПа в течение 3, 5 и 20 мин. Микроструктуру и элементный состав спеченных образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на установке Vega 3. Для оценки прочности при изгибе изготовленных композитных материалов были проведены испытания на трехточечный изгиб с использованием испытательной машины А1-7000М (GOTECH). Для механических испытаний были подготовлены прямоугольные балки длиной 18 мм, шириной 2 мм и толщиной 1,7 мм. Расстояние между опорами составляло 16 мм, а скорость перемещения траверсы – 0,05 мм/мин.

В результате спекания композитов сформировалась заданная слоистая структура с чередующимися керамическими слоями, сформированными из прекерамических бумаг, и металлическими слоями из Nb. На границе раздела металл/керамика формируется реакционный слой, обогащенный ниобием, алюминием и кремнием (рис. 1). Формирование данного слоя обусловлено взаимной диффузией элементов МАХ-фазы (преимущественно Al и Si) и Nb. При различных длительностях спекания образуются реакционные слои различной толщины:  $17,0 \pm 1,5$  мкм (3 мин),  $18,3 \pm 0,9$  мкм (5 мин) и  $20,5 \pm 0,2$  мкм (20 мин). Таким образом, с увеличением времени спекания композитов толщина реакционных слоев постепенно увеличивается.

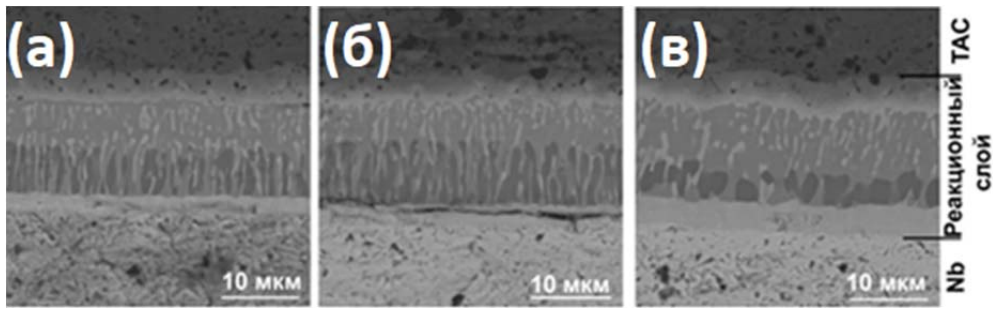


Рис. 1. СЭМ изображения поперечных сечений реакционных слоев ламинированных композитов при времени спекания 3 мин (а), 5 мин (б) и 20 мин (в)

Механические испытания на изгиб продемонстрировали не типичное для хрупких материалов деформационное поведение (рис. 2, а). Полученные ламинированные композиты Nb/TAC имеют хрупко-вязкий механизм разрушения с относительной деформацией более 1 %, что связано со слоистой структурой данных образцов и наличием пластичных слоев Nb. Образование трещин в ламинированных образцах происходит при нагрузке 300 МПа (3 мин), 270 МПа (5 мин), 235 МПа (20 мин) и относительной деформации 0,7 % (3 мин), 0,5 % (5 и 20 мин). При дальнейшей деформации происходит небольшое упрочнение композитов, предел прочности которых составил 320 МПа (3 мин), 330 МПа (5 мин). Анализ данных показал, что при дальнейшей длительности спекания происходит снижение предела прочности на изгиб до 275 МПа (20 мин), что вероятно обусловлено увеличением толщины реакционного слоя и изменением его микроструктуры. Также, ламинированные композиты демонстрируют более высокую работу разрушения, чем монолитные образцы на основе МАХ-фазы  $Ti_3Al(Si)C_2$ . В полученных ламинированных материалах высокая работа разрушения обычно достигается за счет отклонения и разветвления трещин на границах раздела реакционных слоев и пластической деформации слоев Nb (рис. 2, б).

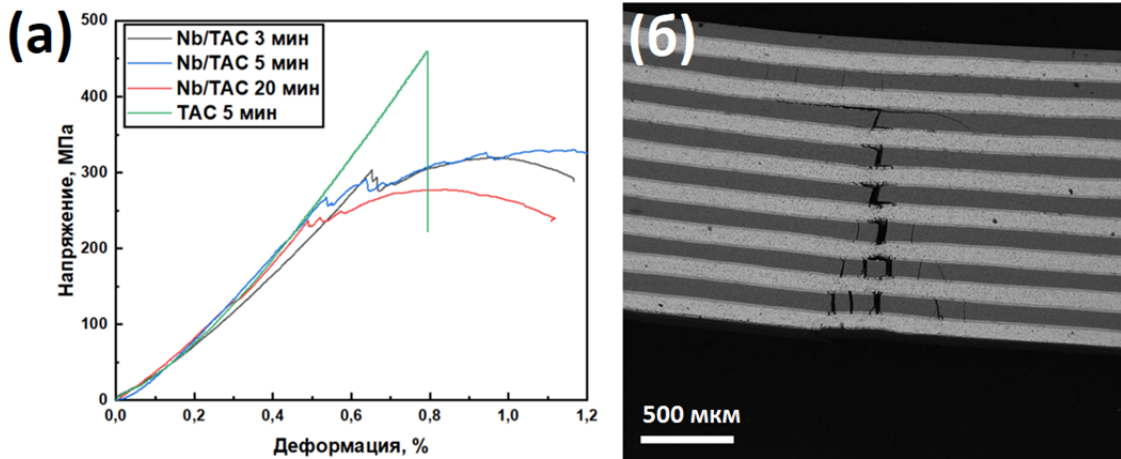


Рис. 2. Деформационные кривые для композита Nb/TAC при различном времени спекания (а). СЭМ изображение поперечного сечения поверхности разрушения при деформации 1,1 % (5 мин) (б)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-19-00109.

### Список литературы

1. Barsoum M.W., Radovic M. Elastic and mechanical properties of the MAX phases // Annual review of materials research. – 2011. – Vol. 41. – P. 195–227.
2. Krotkevich D.G., Kashkarov E.B., Syrtanov M.S., Murashkina T.L., Lider A.M., Schmiedeke S., Travitzky N. Preceramic paper-derived  $Ti_3Al(Si)C_2$ -based composites obtained by spark plasma sintering // Ceramics International. – 2021. – Vol. 47, № 9. – P. 12221–12227.

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ДУПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ

*Ашихмин Д.А., Воронина Е.Д., Сиделёв Д.В.*  
*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*  
E-mail: daa39@tpu.ru

В настоящее время одним из перспективных способов повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости инструментов, используемых в агрессивных средах, является нанесение на их поверхность функциональных покрытий. К таким покрытиям относят плёнки на основе углерода (DLC), которые обладают целым комплексом уникальных свойств, таких как высокая химическая стабильность, низкий коэффициент трения и высокая твердость [1]. Для того чтобы покрытие обладало требуемыми эксплуатационными свойствами, необходимо обеспечить высокую адгезионную прочность между покрытием и инструментом (подложкой), которая определяется структурными и механическими свойствами подложки. Наиболее распространенными материалами подложки являются стали, используемые для изготовления режущих инструментов, деталей трения, качения и скольжения из-за их относительно низкой стоимости и хорошей коррозионной стойкости, особенно хромистые стали [2]. Тем не менее, значительная разница между механическими свойствами сталей и DLC покрытий приводят к низкой адгезии последних, что является причиной снижения эксплуатационных свойств конечных изделий. Чтобы решить эту проблему, перед нанесением покрытия материалы изделий часто обрабатывают дополнительными методами, такими как бомбардировка электронными и ионными пучками, термообработка, газовое или плазменное азотирование [3]. Среди них плазменное азотирование является наиболее распространенным методом модификации сталей, поскольку оно отличается своей экологичностью процесса и управляемостью. Уже известно, что DLC покрытия, нанесенные на предварительно азотированную сталь, демонстрируют лучшие показатели износостойкости и коррозионной стойкости, а также адгезионной прочности между покрытием и подложкой по сравнению со свойствами покрытий, нанесенных на необработанную сталь [4]. Однако в литературе отсутствует информация о влиянии продолжительности плазменного азотирования нержавеющей стали на свойства изделий с DLC покрытием. Таким образом, целью данной работы является изучение влияния длительности плазменного азотирования на структуру и функциональные свойства стали 12х18н10т после дуплексной обработки. В данной работе в качестве дуплексной обработки стали была использована комбинация высокочастотного плазменного азотирования и последующего импульсного катодно-дугового испарения для нанесения DLC покрытия.

Процесс плазменного азотирования проводился при постоянном давлении рабочей смеси (0,8 Па) и температуре (515 °С). Модифицированный слой на образцах формировался в течение 2, 15 и 60 мин. Рабочая газовая смесь содержала Ar, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> в соотношении как 2:4:1. DLC покрытия были нанесены методом импульсного катодно-дугового испарения на установке УВНИИПА-1.1 с частотой следования импульсов 3 Гц, напряжениями накопителя 300 В и поджига дуги 400 В.

На основании базы данных ICDD-4+ в полученных образцах идентифицированы фазы  $\gamma$ -Fe (JCPDS #52-513),  $\gamma_N$ -Fe (JCPDS #75-2129), Fe<sub>4</sub>N (JCPDS #83-875) и Fe<sub>2-3</sub>N (JCPDS #83-232). Рефлексов DLC покрытий обнаружено не было, поскольку такие покрытия обладают аморфной структурой. Выявлено, что увеличение продолжительности высокочастотного плазменного азотирования от 2 мин (DLC-2) до 60 мин (DLC-60) привело к изменению фазового состава азотируемого слоя от раствора азота в железе ( $\gamma_N$ -Fe) до нитридов железа (Fe<sub>2-3</sub>N и Fe<sub>4</sub>N), что обусловлено ростом концентрации азота в поверхностном слое подложки в процессе диффузии.

Морфология поверхности образцов после дуплексной обработки была исследована с помощью трехмерного профилометра, и представлена усредненными параметрами ( $R_a$ ) и ( $R_z$ ). Зависимость параметров шероховатости образцов от продолжительности плазменного азотирования представлена на рис. 1.

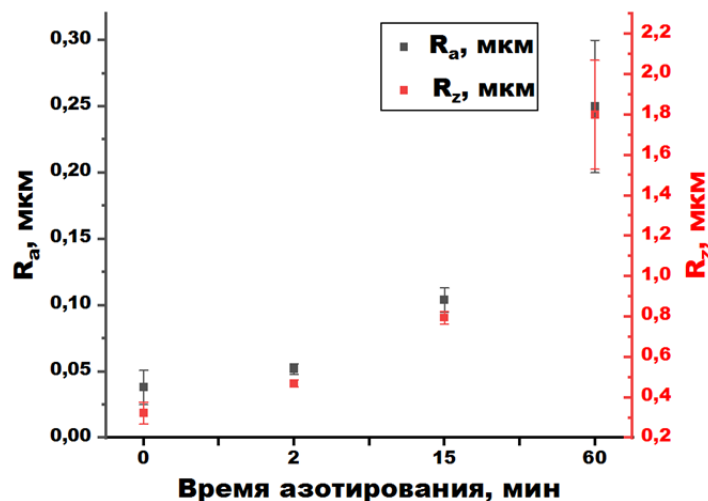


Рис. 1. Значения параметров  $R_a$  и  $R_z$  образцов, с DLC покрытием, после азотирования в течение 2, 15 и 60 мин. Значение «0» указывает на отсутствие предварительного азотирования

Из рис. 1 видно, что увеличение продолжительности азотирования приводит к изменению параметров шероховатости поверхности образцов. Образец без плазменного азотирования (DLC-0) имел самую гладкую поверхность, значения  $R_a$  и  $R_z$  составляют 0,04 и 0,32 мкм, соответственно. При применении азотирования в течение 2 мин оба параметра шероховатости поверхности увеличились до 0,05 и 0,47 мкм, соответственно. После 60 мин азотирования параметры  $R_a$  и  $R_z$  образца DLC-60 были увеличены в ~6 раз и равны 0,25 и 1,8 мкм, соответственно.

Установлено, что износостойкость DLC покрытий зависит от длительности высокочастотного плазменного азотирования (рис. 2).

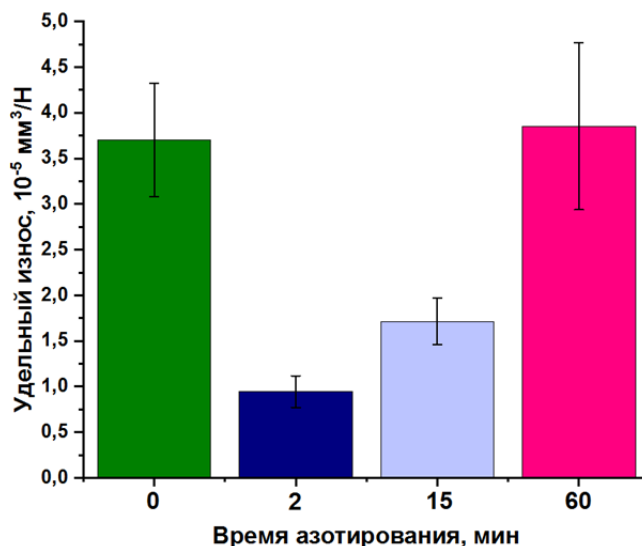


Рис. 2. Зависимость удельного износа DLC покрытий от времени высокочастотного плазменного азотирования стали

Предварительное азотирование в течении 2 мин способствует уменьшению величины удельного износа приблизительно в 4 раза по сравнению с образцом, не подвергшемся азотированию. При длительности азотирования более 60 минут наблюдается снижение износостойкости до исходного уровня, что наиболее вероятно связано с развитием морфологии поверхности в ходе длительной ионной бомбардировки в процессе азотирования.

Таким образом, показано, что путём регулирования длительности высокочастотного плазменного азотирования, возможно значительно улучшить износостойкость поверхности стали. Главным недостатком такого решения является изменение морфологии поверхности в процессе азотирования.

#### **Список литературы**

1. Fontaine J., Donnet C., Erdemir A. Fundamentals of the tribology of DLC coatings // Springer. – 2008. – P. 139–154.
2. Davalos R., Wetering J., Krawczyk B. Corrosion Behaviour of Type 316L Stainless Steel in Hot Caustic Aqueous Environments. *Met. Mater. Int.* 26. – 2020. P. 630–640.
3. Tao X., Collins T.J., Liu Q., Dashtbozorg H., Li, X., Dong, H. Active screen plasma nitriding of Fe-24Mn-2Al-0.45C TWIP steel: Microstructure evolution and a synergistic selective oxidation mechanism. *Acta Materialia*. – 2022, 241, 118418. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.118418>.
4. Morand G. Chevallier P. Bonilla-Gameros L. On the adhesion of diamond-like carbon coatings deposited by low-pressure plasma on 316L stainless steel. *Surf Interface Anal.* – 2021, P. 658–671.

## ПЕРЕРАБОТКА КОНЦЕНТРАТА ЦИРКОНА

Бембеева В.Э.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: tpu@tpu.ru

Концентрат циркона  $ZrSiO_4$  – минерал для получения металлического циркония. Добываемый на Туганском месторождении в Томской области концентрат циркона содержит помимо циркония и кремния титан, железо, гафний и радиоактивные примеси, что усложняет процесс переработки [1].

Данный концентрат подвергается изначальной термической активации с образованием диоксида циркония  $ZrO_2$  и диоксида кремния  $SiO_2$ . Исследование переработки плазмоактивированного концентрата циркона включает в себя следующие стадии (рис. 1):

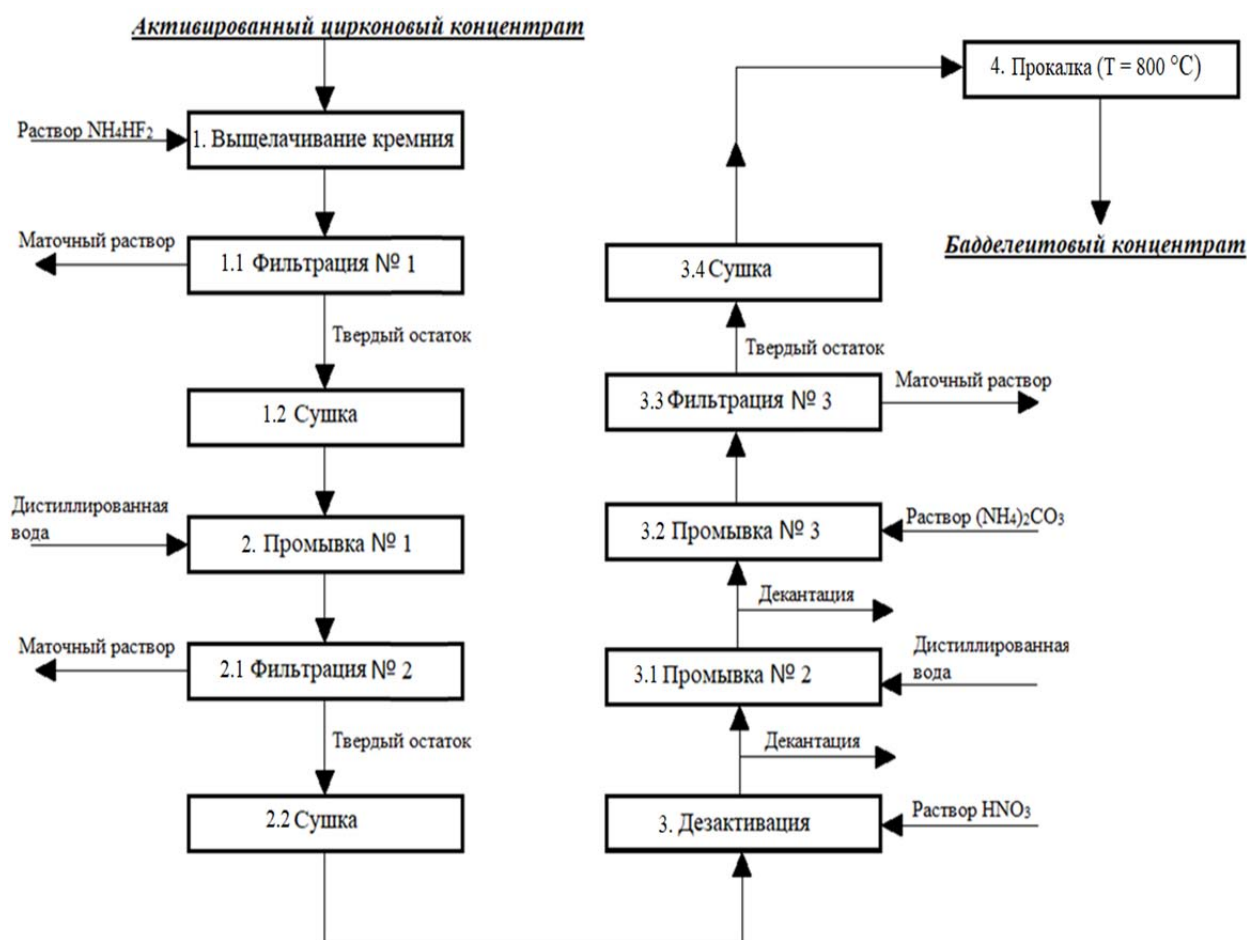


Рис. 1. Схема переработки концентрата циркона

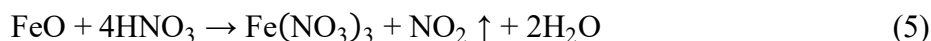
- 1) обескремнивание раствором  $NH_4HF_2$ ;
- 2) отмывка от оставшегося кремния;
- 3) дезактивация концентрата концентрированной  $HNO_3$ .

Обескремнивание цирконового концентрата осуществляется 30 %-ным раствором бифторида аммония  $NH_4HF_2$  [2], в результате которого образуется бадделеитовый концентрат  $ZrO_2$  и гексафторосиликат аммония  $(NH_4)_2SiF_6$ . Также в качестве побочного продукта образуется гептафтороцирконат аммония  $(NH_4)_3ZrF_7$  из-за растворимости диоксида циркония  $ZrO_2$  в бифториде аммония  $NH_4HF_2$ :



Процесс промывки в дистиллированной воде необходим для растворения остатка гексафторосиликата аммония, который не перешел полностью в раствор из-за недостатка растворителя на стадии выщелачивания.

Концентрированная азотная кислота при нагревании селективно переводит железо, алюминия и радиоактивные примеси в раствор, поэтому целесообразно использовать ее для очистки бадделеитового концентрата:



Для определения эффективности исследования были проведены рентгенофлуоресцентный анализ и анализ радиоактивности на гамма-спектрометре (рис. 2).

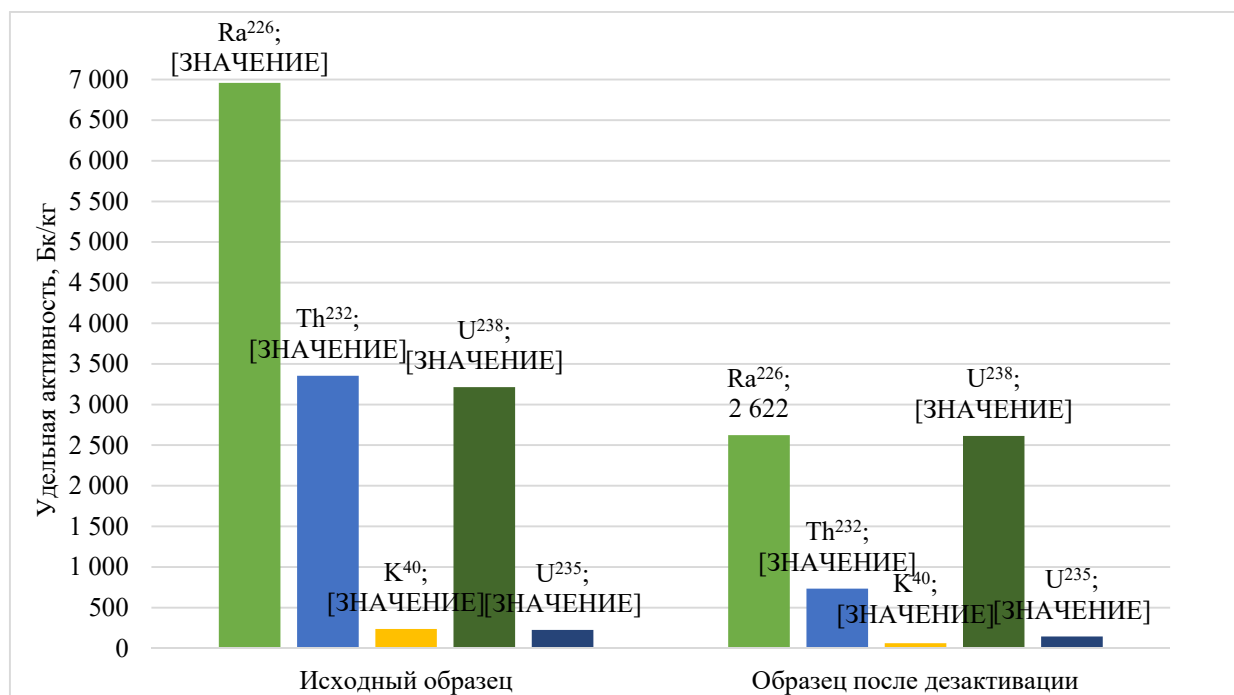


Рис. 2. Сравнение удельных активностей радионуклидов

По результатам проведенной работы наблюдается снижение концентрации кремния и других примесей, также снижается суммарная активность с 10 336 Бк/кг до 3 289 Бк/кг.

### Список литературы

1. Металлургия циркония и гафния / Н.В. Барышников, В.Э. Гегер, Н.Д. Денисова, А.А. Казайн, В.А. Кожемякин и др. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.
2. Смороков А.А., Кантаев А.С., Брянкин Д.В., Миклашевич А.А.. Разработка способа низкотемпературного обескремнивания активированного цирконового концентрата раствором NH<sub>4</sub>HF<sub>2</sub> // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 4. – С. 27–36.



## СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ 5 И 6-КОМПОНЕНТНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ Hf-Zr-Ce-Y-O

Булах В.А.<sup>1</sup>, Зенкин С.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, 4Г02,

E-mail: vladabulakh@tpu.ru

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШФВП, ведущий научный сотрудник,

E-mail: zen@tpu.ru

Высокоэнтروпийные керамические материалы имеют большие перспективы в области высокотемпературных защитных покрытий. Такие покрытия широко используются в авиастроительной промышленности, где требуется высокая термическая устойчивость [1]. Благодаря дополнительной энтропийной стабилизации кристаллической структуры высокоэнтропийная керамика обладает повышенными термическими и механическими свойствами. Термодинамическая стабильность такого твердого раствора определяется минимизацией свободной энергии Гиббса:

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix} \quad (1)$$

где  $\Delta G_{mix}$  – свободная энергия смешения Гиббса,  $\Delta H_{mix}$  – энтальпия смешения,  $\Delta S_{mix}$  – энтропия смешения,  $T$  – абсолютная температура.

Энтропия в данных керамических системах описывается уравнением Больцмана:

$$\Delta S_{mix} = -R \sum_i c_i \ln(c_i) \quad (2)$$

где  $R$  – газовая постоянная,  $c_i$  – молярное содержание компонента.

Полученная свободная энергия Гиббса по уравнению (1) минимизируется на величину энтропии смешения со значениями  $\Delta S_{mix} = 1,61 R$  для пятикомпонентных и  $\Delta S_{mix} = 1,79 R$  для шестикомпонентных материалов по сравнению с традиционными материалами, что дает дополнительную термодинамическую стабилизацию системы. При этом, введение новых компонентов (в особенности, значительно отличающихся по структуре от исходного высокоэнтропийного оксида) может приводить к образованию конкурирующих фаз, сегрегации и расслоению на отдельные оксиды, которые часто имеют пониженную температуру плавления.

В представленной работе рассматривались возможности формирования 5 и 6-компонентных систем на базе задающего оксида HfZrCeYO путем добавления оксидов магния и алюминия.

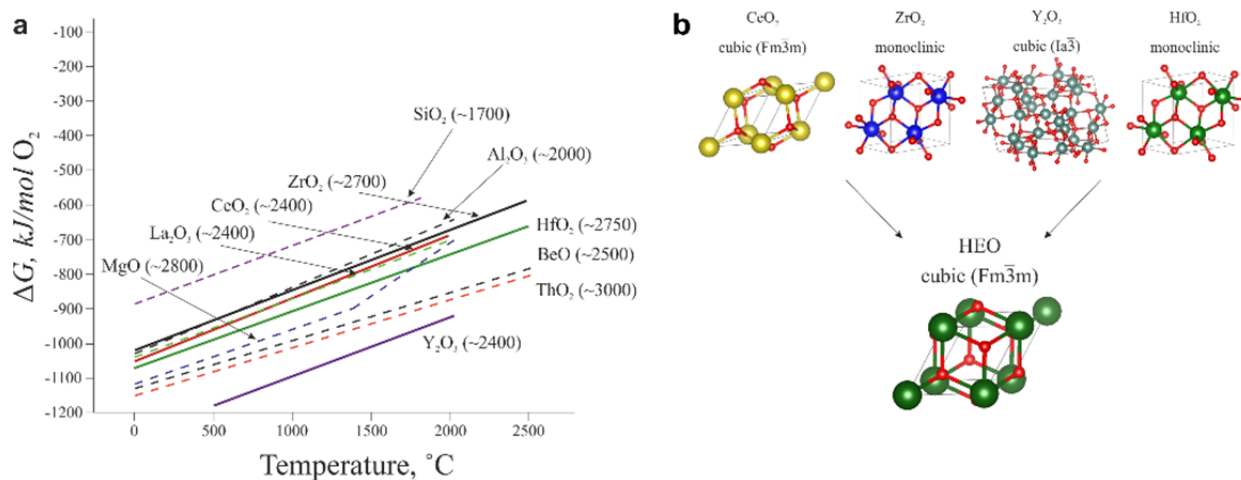


Рис. 1. Диаграммы Эллингема наиболее термически стабильных оксидов с соответствующими температурами плавления (а), здесь сплошными линиями показаны выбранные оксиды для задающего оксида; (б) структуры выбранных компонентов оксидов в нормальных условиях и результирующая кристаллическая структура высокоэнтропийного оксида HfZrCeYO<sub>2-δ</sub>

Для создания прочной прозрачной тонкопленочной керамики при выборе состава высокоэнтروпийного оксида (ВЭО) использовалось сочетание таких свойств материала как высокая температура плавления оксида и наименьшая энтальпия его образования (или минимальная свободная энергия Гиббса на единицу массы). В результирующую группу выбранных оксидов были взяты  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ , исключая радиоактивные  $\text{ThO}_2$  и  $\text{PuO}_2$  и токсичный  $\text{BeO}$  (Рисунок 1а). Введение  $\text{La}_2\text{O}_3$  в качестве пятого компонента может привести к образованию бинарных пироклоровых структур типа  $\text{Zr}_2\text{La}_2\text{O}_7$  и  $\text{Hf}_2\text{La}_2\text{O}_7$  с пониженными температурами плавления.

Для системы  $\text{HfO}_2\text{-ZrO}_2\text{-CeO}_2$  характерно положительное значение энтальпии смешения ( $\Delta H_{\text{mix}} = +51,0 \pm 8,0$  кДж/моль для эквимольного состава  $\text{ZrO}_2\text{-CeO}_2$ ), что приводит к возможности фазового расслоения и сегрегация на области, богатые цирконием и церием, в отличие от системы  $\text{HfO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ , которая характеризуется  $\Delta H_{\text{mix}} = 0$  (идеальный твердый раствор) для всех мольных соотношений. Полученный состав НЭО  $\text{HfZrCeYO}_{2-\delta}$  характеризуется значением энтропии  $\Delta S_{\text{mix}} = 1,38R$  и простой кубической структурой Fm-3m (Рисунок 1б).

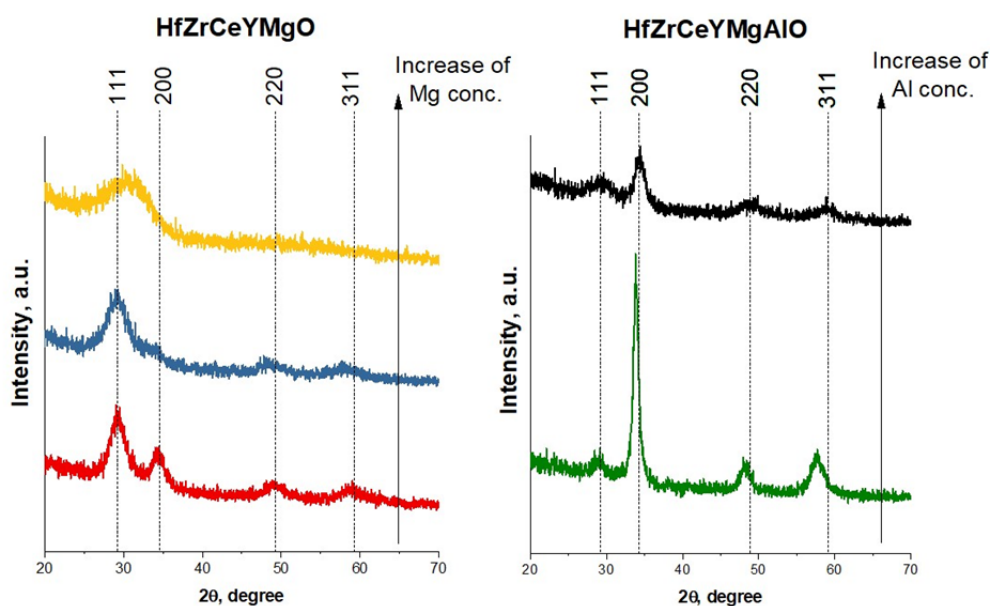


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ эквимольной керамики  $\text{HfZrCeYO}_{2-\delta} + \text{MgO}$  (левый блок) и эквимольной керамики  $\text{HfZrCeYMgO}_{2-\delta} + \text{Al}_2\text{O}_3$  (правый блок)

Рентгенофазовый анализ полученных керамических покрытий представлен на рисунке 2. Видно, что добавление  $\text{MgO}$  в состав  $\text{HfZrCeYO}$  хоть и не способствует формированию двойных и тройных паразитных оксидов, ведет к постепенной аморфизации структуры. В противоположность, добавление в систему  $\text{HfZrCeYMgO}$  оксида алюминия ведет к существенному росту кристалличности покрытия. Помимо этого, в отличие от системы  $\text{HfZrCeYMgO}_{2-\delta}$ , где доминантная структура (111) сохраняется для всех концентраций  $\text{MgO}$ , в системе  $\text{HfZrCeYMgAlO}_{2-\delta}$  наблюдается рост доминантной (200) структуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 22-79-10069.

### Список литературы

1. Zenkin S., Gaydaychuk A., Mitulinsky A., Linnik S. Tailoring of optical, mechanical and surface properties of high-entropy Hf-Zr-Ce-Y-O ceramic thin films prepared by HiPIMS sputtering // Surface and Coatings Technology. – 2022. – № 433.
2. Zenkin S., Gaydaychuk A., Mitulinsky A., Bulakh. V, Linnik S Effect of the MgO Addition on the Structure and Physical Properties of the High Entropy HfZrCeYO Fluorite Ceramics // Coatings. – 2023. – № 13.

## **ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОВЛОЖЕНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ СПЛАВА AL40SN, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ**

*Гатаулина М.Р.<sup>1</sup>, магистрант, гр.4АМ2К*

*Акимов К.О.<sup>2</sup>, к.т.н., н.с.*

*Скоренцев А.Л.<sup>1,2</sup>, к.т.н., н.с.*

*Русин Н.М.<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*

*E-mail: mrg6@tpu.ru*

*<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4*

Алюминий и сплавы на его основе являются одними из самых популярных материалов используемых для получения деталей различными методами порошковой металлургии. Благодаря их низкой плотности, хорошей коррозионной стойкости и простоте обработки они имеют ряд применений в различных отраслях промышленности [1]. Хотя изделия из алюминиевых сплавов, изготовленные традиционными способами, широко используются, существуют трудности в создании изделий сложной геометрии, например ячеистых структур деталей аэрокосмического назначения, удовлетворяющих требованию высокой прочности при малом весе. Последнее требует использования технологии производства деталей с высокой точностью размеров и формой, близкой к идеальной.

Одной из таких технологий является селективное лазерное сплавление (СЛС). Несомненным преимуществом данного метода является экономичное изготовление индивидуальных деталей сложной геометрии в быстром цикле от проектирования до производства. На сегодняшний день с помощью СЛС активно изготавливают детали из широкого спектра материалов, среди которых алюминиевые сплавы. Значительное число работ проведено на силуминах: алюминиевых сплавах, легированных кремнием. Однако не меньший интерес предоставляют сплавы алюминия с оловом, в частности состава Al40Sn. Данный сплав успешно используется в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения, в которых добавки олова выполняют функцию твёрдой смазки при граничном и сухом трении [2]. Получение данного сплава классическими методами, например литья, значительно ограничено формированием непрерывной оловянной сетки, которая значительно снижает механические свойства сплава. В связи с этим присутствует необходимость дополнительной обработки сплава с применением больших деформации с целью разорвать сплошную оловянную прослойку, или сверхбыстрой закалки для формирования ультрадисперсной структуры. Механизм последней схож с процессами, наблюдаемыми в ходе СЛС, когда материал нагревается до критических точек плавления или испарения с последующим быстрым охлаждением потоками инертного газа. В результате чего возможно сформировать нано- и микрочернистую структуру в сплаве, обеспечивающую высокие механические свойства. Несмотря на все преимущества СЛС возникают значительные трудности в формировании бездефектной структуры, которое зависит от большого числа факторов [3]. Среди ключевых факторов, влияющих на формирование структуры, можно выделить мощность и скорость сканирования лазера, которые являются одними из основных параметров, определяющих величину энергозатрат при СЛС. Отсюда целью данной работы было выявление оптимальных значений энергозатрат, позволяющих сформировать структуру сплава Al40Sn методом СЛС с минимальным количеством структурных дефектов.

В работе использовали смесь порошков алюминия марки АСД-1 и олова марки ПО1, взятых в весовом соотношении 60/40. Смешивание порошков производили в конусном смесителе в течение четырех часов. Из полученной смеси на СЛС 3D-принтере ONSINT AM150 в атмосфере аргона высокой чистоты были сформированы образцы размерами 10x10x10 мм. Толщина нанесённого за один проход слоя (h) составляла 0,03 мм. Страте-

гия сканирования выбрана однонаправленной. Межтрековое расстояние (Hatch, s) составляло 0,09 мм. Энерговложение (E), определяемое плотностью энергии лазера (ПЭЛ) (P) и скоростью сканирования (v), рассчитывалось как:  $E = P/vsh$  и варьировалось в пределах 27 Дж/мм<sup>3</sup> до 60 Дж/мм<sup>3</sup>. Оценку открытой пористости проводили методом гидростатического взвешивания (ГОСТ 20018-74). Для оценки внутренней пористости образцы разрезали по горизонтали и вертикали. Плоскости образцов полировали на наждачной бумаге с убывающим размером абразивных частиц, затем на сукне с нанесённой алмазной пастой, содержащей твердые частицы менее 1 мкм. Исследование структуры шлифов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO EVO 50 (Zeiss, Германия), представленного ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН. Оценку внутренней пористости проводили с помощью программы ImageJ.

Анализ открытой пористости методом гидростатического взвешивания (рис. 1) показал, что при значении ПЭЛ 27 Дж/мм<sup>3</sup> наблюдается наибольшее значение пористости 8 %. Дальнейшее увеличение показателя ПЭЛ приводит к уменьшению пористости до 6 % в диапазоне от 35 Дж/мм<sup>3</sup> до 45 Дж/мм<sup>3</sup> с увеличением до 8 % при 60 Дж/мм<sup>3</sup>. Причиной высокой пористости при малой ПЭЛ может являться больше число зон нерасплавленного исходного материала. В свою очередь при большой ПЭЛ могут возникать длинные каналы, возникновение которых может быть объяснено активным выделением газа в результате разложения оксида алюминия при температуре выше 2000 °С. Последнее подтверждается результатом анализа изображений, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа. В структуре сплава, полученного при ПЭЛ 27 Дж/мм<sup>3</sup> наблюдаются большие скопления зон нерасплавленного материала (рис. 2а, выделены красными овалами). В свою очередь на поверхности структуры, полученной при повышенной ПЭЛ, наблюдаются длинные трещины (рис. 2б, отмечены красными линиями), распространяющиеся почти по всей высоте образца, и большое число сферических дефектов (пор), причиной которых является выделение газов из исходного порошкового материала. Причиной возникновения длинных трещин в данном случае являются значительные остаточные термические напряжения, возникающие в результате быстрого плавления и кристаллизации при СЛС [3]. Зависимость внутренней пористости (рис. 1) имеет схожий характер с таковой открытой пористости. Однако её значения в ~3 меньше по сравнению с открытой пористостью, что указывает на сосредоточение дефектов структуры в приграничных областях. Однако при значении ПЭЛ 60 Дж/мм<sup>3</sup> значения пористости, полученные разными методами, различаются незначительно. Последнее указывает на распространение дефектов вглубь образца, что может значительно ухудшить его механические свойства.

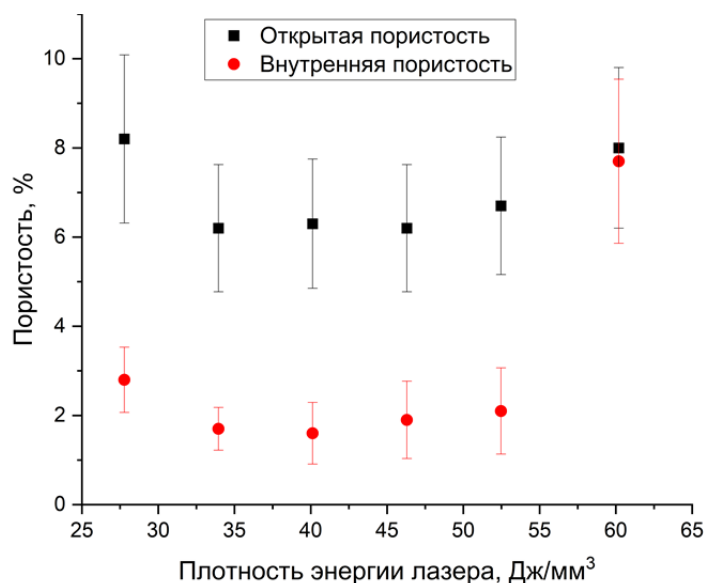


Рис. 1. Зависимость пористости сплава Al40Sn, полученного методом СЛС, от плотности энергии лазера

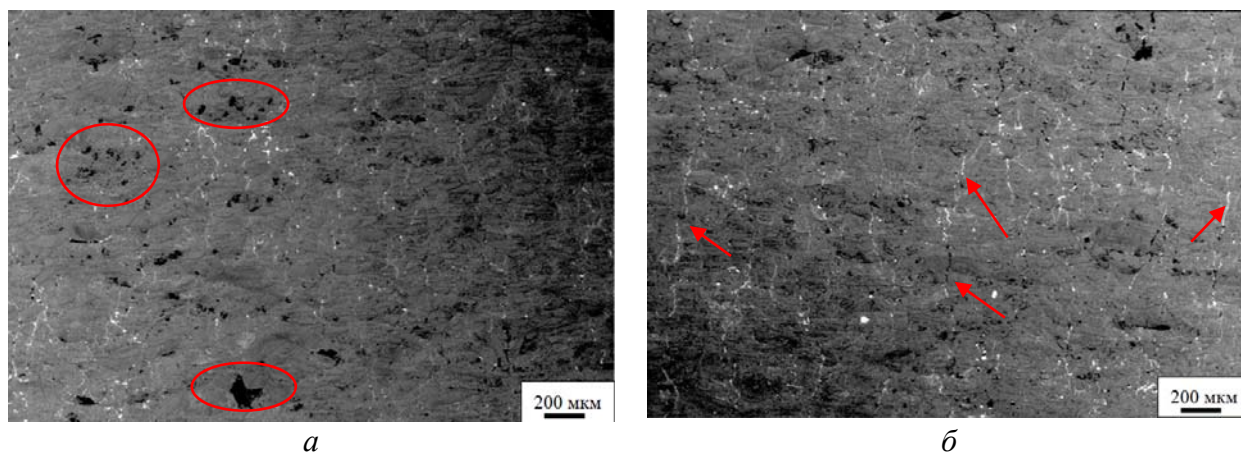


Рис. 2. Снимки внутренней поверхности структуры сплава Al40Sn, полученного методом СЛС при плотности энергии лазера: а – 27 Дж/мм<sup>3</sup>, б – 60 Дж/мм<sup>3</sup>

Таким образом установлено, что для получения сплава Al40Sn из исходной порошковой смеси порошков алюминия и олова с меньшим количеством структурных дефектов необходимо проводить процесс СЛС при плотности энергии лазера в диапазоне от 35 Дж/мм<sup>3</sup> до 45 Дж/мм<sup>3</sup>.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, темы FWRW-2021-0006 и FWRW-2021-0003.

#### Список литературы

1. Zhang J., Song B., Wei Q., Bourell D., Shi Y. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends // Journal of Materials Science & Technology. – 2019. – Vol. 35, Iss. 2. – PP. 270–284. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.09.004>.
2. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н.А. Буше, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М.: Транспорт, 1974. – 256 с.
3. Zhang B., Li Y., Bai, Q. Defect Formation Mechanisms in Selective Laser Melting: A Review // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 30. – PP. 515–527. <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0121-5>.



## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТРАВМАТОЛОГИИ

*Костылев В.В.<sup>1</sup>, Гребенщикова М.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», группа 4301-61;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», доцент кафедры ПНТВМ,  
E-mail: grebenshikova.marina@yandex.ru

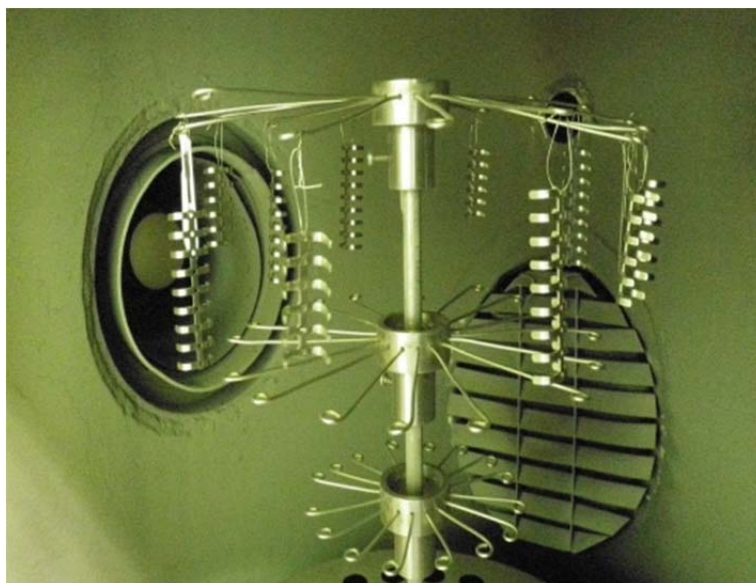
В производстве инструментов для травматологии особые требования предъявляются по направлениям прочности, устойчивости к внешним воздействиям и биологическому взаимодействию с живым организмом. Так, соединение обломков ребер при хирургическом лечении травм грудной клетки производят титановыми клипсами, фиксирующими место излома. Клипсы долговременно находятся в организме пациента. Кроме механической прочности они должны быть биологически совместимы с внутренней средой организма.

Биосовместимость – это многофакторная функция. Она включает в себя отсутствие токсичности, металлоза, исключает отравление организма продуктами коррозии сплавов, а также другие факторы, в соответствии с ГОСТ ISO 10993. Достижение биологической совместимости изделий медицинского назначения – важная и сложная технологическая задача.

Нитридные титаногафниевые покрытия, конденсируемые из пароплазменной фазы в атмосфере азота, решают задачи повышения биологической совместимости материала имплантатов и изделий медицинского назначения. В [1] сформулированы основные требования к ним. Разработана технология нанесения покрытий на клипсы реберного синтеза на отечественной установке ННВ, а также технологическая оснастка и методы контроля.

Благодаря наноструктуре покрытия со столбчатой структурой имеют повышенную твердость (до 20 ГПа и более), незначительную скорость коррозии (рассчитанную по миграции ионов на уровне  $6 \cdot 10^{-16}$  г/(см<sup>2</sup>·час), отсутствие цитотоксичности по перевиваемым культурам клеток. Также установлено, что многослойные наноструктурированные покрытия, по химическому составу (Ti+Hf)N, угнетают рост болезнетворной микрофлоры мурейного и больничного происхождения [2].

Немаловажно, что покрытие выполняет барьерные функции и уменьшает выход потенциально токсичных ионов ванадия и хрома из высокопрочных титановых сплавов в сотни раз. На рис. 1 представлена компоновка изделий на подвесках с вращением в вакуумной камере.



*Рис. 1. Расположение клипс при нанесении покрытий в вакуумной камере*

Клипсы имеют зажимную часть, обжимающую ребро, этот изгиб и закрепление производит торакальный хирург щипцами в процессе операции. Загиб клипсы с покрытием происходит с усилием и сопровождается процессами деформации поверхности изделия, и, в том числе, покрытия. Было экспериментально установлено, что изгиб клипсы толщиной 2–2,5 мм на радиусе 5 мм не приводит к трещиноватости покрытия толщиной до 3 мкм, что и было заложено в технологические карты режимов и контроля.

Таким образом, формирование наноструктурированных покрытий на основе нитридов титана и гафния на изделиях медицинского назначения повышает их прочность, устойчивость к механическим повреждениям и улучшает биологическую совместимость с тканями живого организма, что положительно сказывается на скорости и процессе заживления.

### **Список литературы**

1. Антимикробные свойства наноструктурированных плазменных конденсатов для медицинских имплантатов / М.М. Миронов, М.М. Гребенщикова, И.И. Шамсутдинов, Л.Т. Баязитова // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 16. – С. 149–151.

2. Патент № 2554773 С1 Российская Федерация, МПК А61L 27/06, А61L 27/30, С23С 14/30. Материал бактерицидного покрытия: № 2014108433/15: заявл. 25.02.2014: опубл. 27.06.2015 / М.М. Миронов, И.Ф. Файзрахманов, И.И. Васильев [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно- производственный центр «Технополис».



## ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЁННОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА ПО ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Дудкевич И.А.<sup>1</sup>, Ананьева Е.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Авиаэксперт», эксперт-аудитор Росавиации, г. Москва, i-dudkevich@mail.ru.

<sup>2</sup>Доцент кафедры современных специальных материалов, к.т.н.,  
ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул.

Проведены сравнительные измерения теплопроводности кольцевых образцов из стеклопластика, вырезанных из корпуса геофизического прибора, разрушенного в эксплуатации (температура до 150 °С, сероводород до 0,1 %, соляная кислота до 10 %, циклических динамических осевых нагрузок, изгибающего момента, высокого внешнего давления (до 100 Мпа), и нового корпуса, не проходившего испытаний. Соотношение наружного и внутреннего диаметров образцов, имевших повреждения в эксплуатации, составляло  $D/d = 74,5/49$  (мм). Образцы в исходном состоянии имели несколько большие размеры. Образцы, протестированные ДСК, имели массу 16 мг и 38 мг. Измерения проводились в динамической атмосфере азота. Для этих испытаний использовались алюминиевые тигли низкого давления. Образцы нагревались при температуре от 20 °С до 150 °С со скоростью нагрева 10 К/мин. Для определения теплопроводности каждый образец был подготовлен в трех разных направлениях, как показано на рис. 1. Все образцы измерялись с использованием стандартного держателя образцов. Образцы испытывались при 20 °С и 120 °С. Результаты термодиффузии представляют собой средние значения пяти отдельных испытаний, плотность при комнатной температуре определяли гидростатическим балансом (табл. 1).

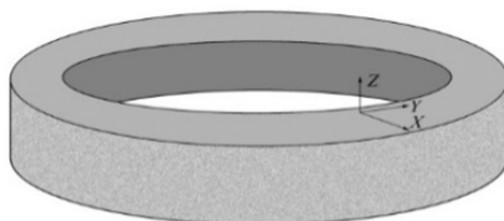


Рис. 1. Три разных направления измерений

Полученные значения теплопроводности и её изменений в результате эксплуатации приведены на рис. 2. Теоретическое распределение напряжений для радиальных и окружных напряжений приведено на рис. 3. На рис. 4 относительные изменения теплопроводности сопоставлены со средними относительными значениями напряжений в стенке корпуса, нагруженного внешним давлением.

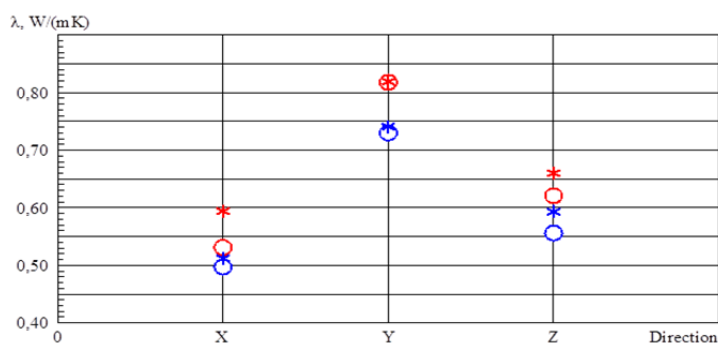


Рис. 2. Теплопроводность стенок кольцевых образцов в зависимости от направления теплового потока X, Y, Z:  $\circ$ ,  $\circ$  – образцы в исходном состоянии;  $*$ ,  $*$  – образцы с повреждениями в эксплуатации;  $\circ$ ,  $*$  – измерения при 20 °С,  $\circ$ ,  $*$  – измерения при 120 °С

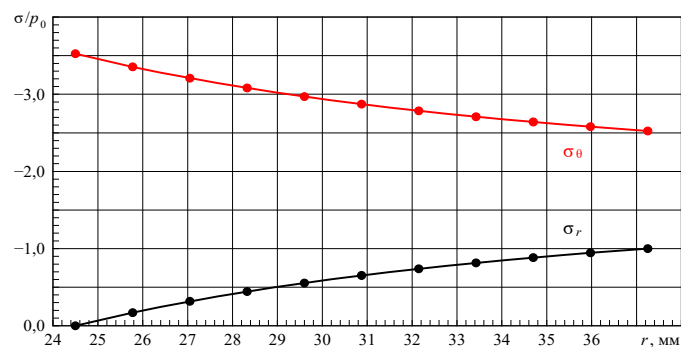


Рис. 3. Распределение радиальных  $\sigma_r$  (направление X) и окружных  $\sigma_\theta$  (направление Y) напряжений в стенках трубы при нагружении её внешним давлением  $p_0$  (в направлении Z для заглушенного торца трубы усреднённые напряжения в стенке равны  $1,762 p_0$ ; координата  $r$  соответствует размерам корпуса  $D/d = 74,5/49$  (мм), разрушенного в эксплуатации)

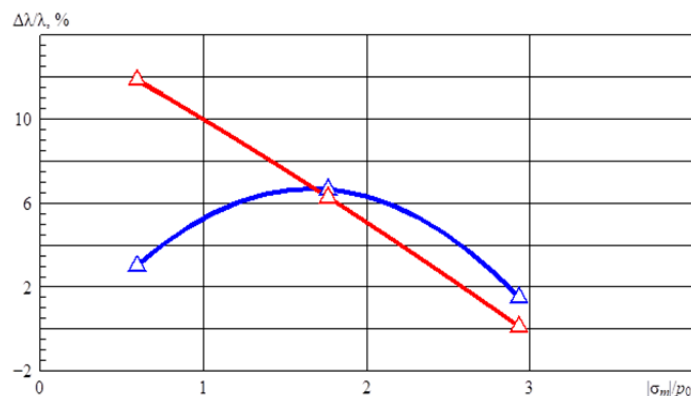


Рис. 4. Относительное изменение теплопроводности стенок кольцевых образцов в результате повреждений, полученных в эксплуатации, в зависимости от средних относительных значений сжимающих напряжений в стенке корпуса:  $\Delta$  – 20 °С,  $\nabla$  – 120 °С

Таблица 1

Результаты термодиффузии образца стеклопластика в разных направлениях

1.1. Тепловые свойства образца А-1 (измеренные в направлении X, плотность – 2,06 г/см <sup>3</sup> )			
Температура, °С	Температуропроводность, м <sup>2</sup> /с	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Теплопроводность Вт/(м·К),
20	0,265	0,911	0,497
120	0,232	1,112	0,531
1.2. Тепловые свойства образца А-2 (измеренные в направлении Y, плотность – 2,05 г/см <sup>3</sup> )			
20	0,391	0,911	0,730
120	0,359	1,112	0,818
1.3. Тепловые свойства образца А-3 (измеренные в направлении Z, плотность – 2,07 г/см <sup>3</sup> )			
20	0,295	0,911	0,556
120	0,270	1,112	0,621

Наибольшее изменение теплопроводности наблюдается в радиальном направлении X, особенно значительное при 120 °С. А общий характер приращения теплопроводности имеет обратный вид по отношению к действующим в эксплуатации напряжениям. Понятно, что эксплуатационные воздействия (температура, давление и внешняя среда) изменяют структуру материала и его теплофизические свойства (прежде всего, связующего). Поэтому такой результат измерений следует рассматривать как вызванный изменением состава материала и может быть использован для предварительной оценки поврежденности материала.

**Список литературы**

Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер: пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОПОРОШКОВ $Al_2O_3-Ag$ , ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СУСПЕНЗИЙ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Евграфов А.М.<sup>1</sup>, Илела А.Э.<sup>2</sup>, Лямина Г.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4БМ22,

E-mail: ame16@tpu.ru

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, доц.

### Введение

Наночастицы серебра (НЧ) известны своими антибактериальными свойствами: за счет малого размера, большой удельной поверхности и растворимости они легко вступают в контакт с патогенными микроорганизмами и проявляют максимальную биологическую активность [1, 2].

Ограничением широкого применения наночастиц серебра является их токсичность, одним из способов подавления которой является включение его в инертную матрицу, например, полимерную или неорганическую [3]. В нашей работе мы предлагаем использовать оксиды металлов, например алюминия или магния, в качестве инертного носителя для закрепления серебра и снижения его токсичности.

В качестве метода получения порошка предложено использовать химическое осаждение в щелочной среде из растворов смеси солей алюминия и серебра. Выделение образовавшихся осадков проводили тремя способами: СВЧ-сушкой, фильтрацией и с помощью установки нанораспылительной сушки [4]. Метод распылительной сушки позволяет избежать агломерации частиц, добиваться их меньшего разброса по размерам и получать частицы сферической формы. Применение такого метода позволяет в одну стадию получать частицы, содержащие два или более веществ, при этом состав продукта контролируется значительно точнее, за счет отсутствия селективности при выделении твердой фазы.

Целью данной работы было изучить морфологию и фазовый состав частиц  $Al_2O_3-Ag$ , полученных различными способами.

### Экспериментальная часть

Для подготовки суспензии готовили 1 М раствор нитрата алюминия и добавляли в него при перемешивании 1 М раствор гидроксида аммония в эквимолярном соотношении. Полученный осадок промывали дистиллированной водой до полного удаления следов аммиака. К промытому осадку добавляли 0,001 М раствор нитрата серебра при перемешивании. Выделение порошка из суспензии производили при помощи фильтрации при комнатной температуре (Ф), нанораспылительной сушкой (НРС) при 75 °С (Nanospray Drying B-90) и СВЧ-сушкой. Затем порошок подвергали термообработке при 600 °С.

Для характеристики продукта применяли рентгенофазовый анализ (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000); растровую электронную микроскопию (JEOL JSM-7500FA) и газо-адсорбционный метод БЭТ (БЭТ-анализатор МЕТА СОРБИ-М).

### Результаты и обсуждение

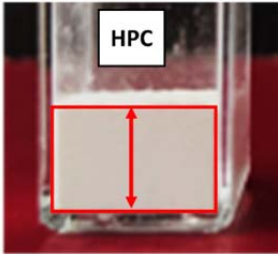
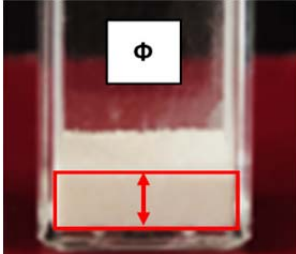
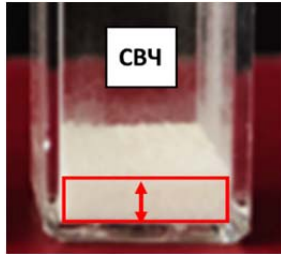
На первом этапе оценивали цвет порошков (табл. 1). Сразу после выделения до термообработки порошки имели серовато-белый цвет, указывающий на наличие окисленных форм серебра. После термообработки цвет сохранялся, но становился менее интенсивным.

Сравнительную удельную поверхность частиц можно оценить по объему, который занимает порошок. В таблице представлены фотографии стеклянных кювет, куда насыпали порошки одинаковой массы. Видно, что частицы, полученные с использованием НРС, занимают существенно больший объем по сравнению с другими образцами. Согласно предварительной оценке, большую удельную поверхность будут иметь именно данные частицы, и минимальную – порошок, полученный СВЧ-сушкой. Это предположение подтверждают данные БЭТ: значение  $S_{уд}$  для  $Al_2O_3-Ag$  (НРС) в 1,6 и 1,9 раза превышает таковое значение для  $Al_2O_3-Ag$  (Ф) и для  $Al_2O_3-Ag$  (СВЧ), соответственно.

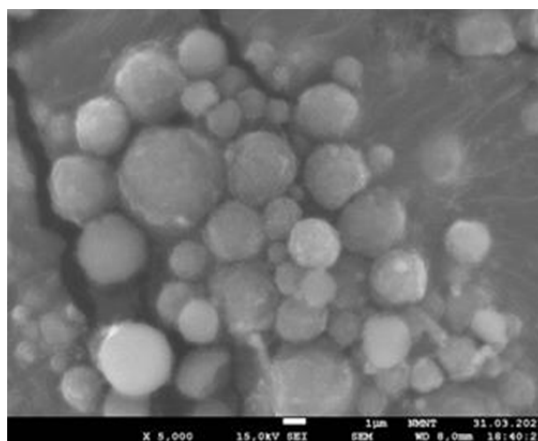
Согласно данным РФА, после термообработки оксид алюминия находится в  $\gamma$ -фазе во всех трех образцах, средний размер кристаллитов составляет 10 нм. Содержание серебра в частицах низкое и может не проявляться на дифрактограммах. Однако для образца  $Al_2O_3$ -Ag (НРС) обнаружена фаза оксида серебра (процентное соотношение в данном случае определено с большой погрешностью). Этот факт демонстрирует возможности нанораспылительной сушки к более полному и неселективному выделению частиц различной природы.

Таблица 1

*Характеристики порошков  $Al_2O_3$ -Ag, полученных различными методами*

Способ получения	НРС	Ф	СВЧ
Фото порошков (0,027 г)			
$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	259 ± 1	167 ± 1	134 ± 1
Фазовый состав, %	$\gamma$ - $Al_2O_3$ : 99,6 Ag <sub>2</sub> O: 0,4	$\gamma$ - $Al_2O_3$ : 100	$\gamma$ - $Al_2O_3$ : 100
ОКР, нм	10 10	8	10

Помимо высокой удельной поверхности и большей степени извлечения серебра, порошки, полученные с использованием НРС, имеют сферическую форму и узкое распределение по размерам (рис. 1). Таким образом, они являются наиболее перспективными для дальнейшей разработки и применения в качестве антибактериальных препаратов.



*Рис. 1. РЭМ изображение  $Al_2O_3$ -Ag (НРС) после отжига при 600 °С*

### Список литературы

1. Yin I. X., et al. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry // International Journal of Nanomedicine. – 2020. – Vol. 2020. – P. 2555–2562.
2. Bruna T., Bravo F. M., Jara P., Caro N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22 (13). – Art. 7202.
3. Dakal T.C., Kumar A., Majumdar R.S., Yadav V. Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – Art. 1831.
4. Лямина Г.В., Илела А.Э. и др. Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки // Бутлеровские сообщения. – 2013. –Т. 33. –№ 2. – С. 119–124.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИКОВ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СМЕШАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Киселев Д.А.  
НИ ТПУ, ИЯТШ, ОАМЗ1,  
E-mail: dak86@tpu.ru

## Введение

Постоянное совершенствование механических и физических свойств, способов производства и утилизации делает полимеры по-настоящему универсальными материалами. Повысить эффективность использования полимерных материалов способны аддитивные технологии, благодаря возможности быстро и качественно создавать объекты сложной формы [1, 2].

Целью данной исследовательской работы является определение степени изменения механических характеристик полимерных материалов после воздействия нейтронного- и гамма- излучения и сопутствующего радиационного разогрева.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- Провести испытание полимерных образцов на изгиб;
- Рассчитать предел прочности образцов на изгиб.

## Практическая часть

Для проведения статических испытаний пластиков методом послойного наплавления изготовлено 3 серии опытных образцов. В свою очередь каждая серия состояла из трех партий, содержащих по четыре опытных образца, прямоугольных призм 40×10×4 мм, предназначенных для экспериментального определения предела прочности.

Образцы первой партии испытываются без радиационного воздействия, второй и третьей партии испытываются после радиационного воздействия. При этом образцы подвергаются радиационному воздействию на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т.

После облучения образцы подвергались испытанию для определения предела прочности на экспериментальной установке. Испытания производились согласно ГОСТ Р 56810-2015.

Результаты измерения образцов на предел прочности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения образцов на предел прочности

	Эталонные	Облученные – 25 % от предельной дозы	Облученные – 50 % от предельной дозы
HIPS (полистирол)			
$\sigma_{изг}$ , МПа	24,07 ± 4,19	25,03 ± 2,82	13,53 ± 1,95
ABS (акрилонитрилбутадиенстирол)			
$\sigma_{изг}$ , МПа	36,10 ± 3,01	22,37 ± 1,47	15,67 ± 0,92
PETG (полиэтилентерефталат-гликоп)			
$\sigma_{изг}$ , МПа	30,09 ± 5,97	19,21 ± 2,50	7,40 ± 1,04

## Заключение

С повышением поглощенной дозы образцы из PETG и ABS становятся хрупче, что обусловлено деструкцией полимерных связей. Полимерные образцы из HIPS при облучении до 25 % от предельной дозы радиационной стойкости сохранили предел прочности. Это обусловлено тем, что полистирол – преимущественно полимеризующийся материал и в процессе облучения образуются новые химические связи. Наибольшей радиационной стойкостью обладает HIPS [3, 4].

### **Список литературы**

1. Бабич Л.Н., Бородин Ю.В. Перспективные полимерные материалы, используемые для радиационной защиты // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2–4 декабря 2015 г., Томск. Т. 2. – Томск, 2015. – СКАН, 2015. – Т. 2. – С. 260–262.
2. Ермакова А.С. и др. Дозиметрические исследования полимерных изделий, изготовленных с помощью технологий трехмерной печати. – 2022.
3. Милинчук В.К., Тупиков В.И., Брискман Б.А. Радиационная стойкость органических материалов. – Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
4. Чарльзби А. Ядерные излучения и полимеры [Текст] / А. Чарльзби. – М.: Ин. литература, 1962. – 522 с.

## ВЛИЯНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Корниенко Д.А.<sup>1</sup>, Дубинов Ю.С.<sup>2</sup>, Галанский А.Н.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Студент факультета инженерной механики РГУ нефти и газа (НИУ)*

*им. И.М. Губкина*

*E-mail: ankoroff57@gmail.com;*

*<sup>2,3</sup>Кафедра металловедения и неметаллических материалов, РГУ нефти и газа (НИУ)*

*им. И.М. Губкина,*

*E-mail: dubinovys@gmail.com*

Эксплуатационный опыт показывает, что в 60 % случаев причинами разрыва трубопроводов различного назначения являются гидроудары, перепады давления и вибрации, в 25 % случаев коррозионные процессы, в 15 % случаев природные явления и форсмажорные обстоятельства [1]. Вынужденные колебания вызывают появление трещин в основном металле и сварных швах, разрушение трубопровода, обрыв подвесок и усталостное разрушение опор, обрыв присоединенных импульсных трубок, ослабление болтовых соединений, ложное срабатывание арматуры, отказ концевых выключателей. В настоящий момент для повышения срока службы трубопроводов используются различные способы борьбы с вибрацией от увеличения толщины стенки трубопровода до сложных демпфирующих опор, однако используемые на данный момент методы являются недостаточно эффективными и зачастую не находят применения из-за высокой стоимости реализации. Одним из возможных решений данной проблемы является замена трубопроводов, изготовленных из сталей различного сортамента на неметаллические композиты. В нефтегазовой отрасли использование композитных труб на данный момент ограничивается насосно-компрессорными трубами, обсадными колоннами, а также элементами трубопроводов, предназначенных для транспортировки многофазных и высокосернистых нефтей [2]. Однако малоизученным является вопрос характера распространения вибраций в неметаллических трубопроводах. В данной работе рассматривается исследование динамики и характера вибраций в зависимости от частот, прикладываемых к образцам из неметаллических композиционных материалов различных конфигураций.

Для получения зависимости вибрационных параметров образца от изменения толщины образца были изготовлены образцы с условным обозначением: У-У (2 склеенных между собой углепластиковых образца), С-С (2 склеенных между собой стеклопластиковых образца), У-У-У (3 склеенных между собой углепластиковых образца), С-С-С (3 склеенных между собой стеклопластиковых образца).

Для исследования зависимости вибрационных параметров образцов с использованием различных по составу наполнителей в составе единого образца, были изготовлены образцы с условным обозначением: С-У, У-С, У-С-У, С-У-С, У-С-С-У, У-С-С-С-У, У-С-У-С-У.

Для проведения исследования был изготовлен стенд и разработана методика проведения вибрационных испытаний различных материалов. Подробная схема стенда представлена на рисунке.

Согласно полученным данным можно выделить наиболее эффективные типы композиционных материалов в зависимости от диапазона частот:

- в диапазоне частот от 0 до 10 Гц наиболее эффективен композит типа УСУ.
- в диапазоне от 10 до 20 Гц наиболее эффективен композит типа УССУ.
- в диапазоне от 20 до 30 Гц наиболее эффективен композит типа УСССУ.
- в диапазоне от 20 до 30 Гц наиболее эффективен композит типа УСССУ.
- в диапазоне от 30 до 40 Гц наиболее эффективен образец из Стали 45.
- в диапазоне от 40 до 50 Гц наиболее эффективен образец из Стали 45.
- в диапазоне от 50 до 300 Гц результаты расчета приведенных напряжений отличаются на величину погрешности измерений.





*Рис. Схема стенда для проведения вибрационных испытаний:  
 1 – генератор частот; 2 – куллер; 3 – низкочастотный вибрационный динамик;  
 4 – трос-демпфер; 5 – площадка фиксации образца; 6 – усилитель частот;  
 7 – стальная рама; 8 – виброметр ВК-5М*

### **Список литературы**

1. Куликов, В. Предотвращать, а не ликвидировать последствия // *Мировая энергетика*. – 2008. – № 2. – С. 20–21.
2. Гаврилюк Ю.А., Агафонов А.А., В.К. Миллер В.К. Опыт применения стеклопластиковых НКТ на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» / *Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть» выпуск 34 – 2014*. С. 92.
3. Батаев А.А., Композиционные материалы. Строение, получение, применение: учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2002. – 383 с.
4. Соппротивление материалов / В.А. Лукьянов, А.Г. Молчанов, В.Г. Пирожков [и др.]. Том Часть 1. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2006. – 123 с.
5. Изучение угла поворота слоя-матрицы в неметаллических композитах при изготовлении труб и резервуаров для сжиженного природного газа / А.К. Прыгаев, Ю.С. Дубинов, Д.А. Корниенко, А.Н. Галанский // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. – 2023. – № 1(141). – С. 214–222.

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СМЕШИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА

*Лю Юаньсюнь, Ковалевская Ж.Г.*

*НИ ТПУ*

E-mail: yuansyun1@tpu.ru

*Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., д.т.н., профессор*

Аннотация: в настоящее время, широкое внимание в качестве новых материалов привлекают высокоэнтروпийные сплавы, концепция которых была новаторски предложена Yeh Kyun-wei в 1990-х годах. Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) представляют собой новый класс активно изучаемых материалов.

В данной работе ставилась задача провести СПС спекание различных порошков FeCoCrNiAl, полученных путем регулирования времени работы планетарной шаровой мельницы, и было четко установлено, что порошки, полученные при шаровом измельчении в течение 60 мин с добавлением спирта в качестве ингибитора, претерпевают большую пластическую деформацию, и вероятность образования холодных сварных швов между порошками значительно снижается. Хорошая пластическая деформация может обеспечить хорошие условия для спекания СПС.

Abstract: High-entropy alloys, the concept of which was pioneered by Yeh Kyun-wei in the 1990s, are currently attracting widespread attention as new materials. High-entropy alloys (HEAs) represent a new class of actively studied materials.

In this work, the aim was to carry out SPS sintering of various FeCoCrNiAl powders obtained by adjusting the running time of a planetary ball mill, and it was clearly found that the powders obtained by ball milling for 60 min with the addition of alcohol as an inhibitor undergo a large plastic deformation and the probability of forming cold welds between the powders is greatly reduced. Good plastic deformation can provide good conditions for sintering of SPS.

### **Введение**

Ключевой особенностью данных многокомпонентных сплавов является отсутствие главного элемента из пяти и более элементов [1–3]. Развитие исследования нового материала, успешно приготовлены высокоэнтропийного сплава на основе системы FeCoNiCrAl. Положительные результаты получены: они обладают традиционными для сплавов высокой твердостью, высокой износостойкостью, стойкостью к высокотемпературному окислению, а также высокой коррозионной стойкостью и эти характеристики могут способствовать применению высокоэнтропийных материалов в промышленности [4] и медицинской промышленности [5]. Несмотря на огромное количество преимуществ, но уровень исследования пока находится на лабораторном уровне, что связано в основном с методикой приготовления и теоретическим изучением механизма образования высокоэнтропийных сплавов. В данном исследовании получение ВЭС механическим легированием, с целью скорее и низкочатратное производство получения порошки.

Актуальность работы данной работы заключается в необходимости исследовать высокоэнтропийные сплавы, содержащие системы FeCoNiCrAl, полученные с помощью планетарной шаровой мельницы.

Целью работы является изучение микроструктуры полученных порошков механическим легированием.

### **Экспериментальная часть**

В качестве сырья в эксперименте использовались металлические порошки Al, Fe, Co, Cr, Ni с размером частиц 50 мкм и чистотой 99,9 %, сплавы были сконфигурированы в соответствии с изотомным соотношением для использования в планетарной шаровой мельнице для проведения экспериментов по шаровому измельчению порошков в невакуумной среде, при этом в качестве мелющих шаров использовались шары из нержавеющей стали,

соотношение шара и порошка состоит 10:1, параметры шарового измельчения 20 Гц, время шарового измельчения устанавливалось 15 мин, 30 мин и 60 мин соответственно.

Строение образцов изучали на микроскопе CarlZeiss AxioObserver. Оценивалось расположение структурных составляющих форма в рисунке 1 и изображение сравнения порошки при разных времени в рисунке 2.

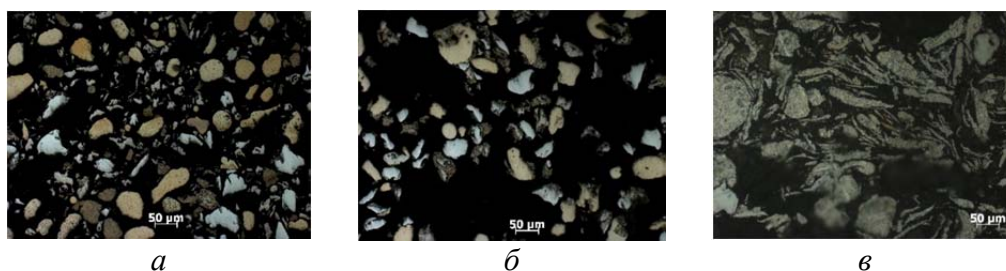


Рис. 1. Оптическое изображение порошки после шлифовния при разном времени разработки:  
а) 15 мин; б) 30 мин; в) 60 мин

Смешанный металлический порошок после прохождения через планетарную шаровую мельницу по мере удлинения времени шарового помола сначала подвергается холодной сварке, разрушение приводит к диффузии атомов в порошке, и может быть получен однородный твердый раствор. В данном эксперименте при увеличении времени удалось получить только компоненты смеси очень однородной дисперсии.

Определена плотность порошков пикнометрическим метолом в результате в табл. 1.

Таблица 1

*Плотность порошка*

Время перемешивания	Плотность/ г/см <sup>3</sup>
0 мин	6.30
15 мин	6.00
30 мин	5.90
60 мин	3.06

**Заключение**

В результате проведенной исследовательской работы мы делаем следующие выводы:

1. Плотность полученного порошка уменьшается с течением времени.
2. Добавление спирта значительно снижает вероятность холодной сварки порошка при смешивании, а сам порошок после пластической деформации перемешивается более однородно.

**Список литературы**

1. Miracle D.B., & Senkov O.N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, 122, 448–511.
2. George E.P., Raabe D., & Ritchie R.O. (2019). High-entropy alloys. *Nature reviews materials*, 4(8), 515–534.
3. Tsai, M.H., & Yeh J.W. (2014). High-entropy alloys: a critical review. *Materials Research Letters*, 2(3), 107–123.
4. Sauza D.J., Dunand D.C., Seidman D.N. Microstructural evolution and high-temperature strength of a (f.c.c.)/(L12) Co-Al-W-Ti-B superalloy[J]. *Acta Materialia*, 2019,174:427–438.
5. Castro D. et al. An overview of high-entropy alloys as biomaterials // *Metals*. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 648.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА СО СВЯЗКОЙ ИЗ КАРБОНИТРИДА ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

Павлов С.С.<sup>1</sup>, Андрианов М.А.<sup>2</sup>, Юрков А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВУ «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»  
Москва, Россия,

E-mail: [stepanpahome@gmail.com](mailto:stepanpahome@gmail.com);

<sup>2</sup>ООО «Микробор», Москва, Россия,

E-mail: [mandrianov@microbor.com](mailto:mandrianov@microbor.com)

В настоящее время кубический нитрид бора (сBN) является одним из самых перспективных материалов для режущих инструментов после алмаза. Он обладает высокой твердостью и способностью обрабатывать материалы на основе железа [1]. Однако, процесс спекания сBN требует высоких температур и давления, что затрудняет его промышленное производство [2].

Твердость и трещиностойкость являются важными характеристиками материалов, используемых в режущих инструментах. Особый интерес представляют материалы на основе сBN, которые обладают высокой твердостью и термической стабильностью. Однако, для достижения оптимальных свойств режущего инструмента необходимо использовать связующую фазу, которая обеспечивает хорошее сцепление кристаллов сBN с матрицей материала [3].

Для улучшения эксплуатационных свойств режущих материалов на основе сBN, производители по всему миру исследуют возможность добавления легкоплавких связующих фаз. В научных и промышленных исследованиях для обработки закаленных сталей используются составы с низким содержанием сBN (ниже 70 масс. %) и различные комбинации керамических и металлических связующих фаз (например, Al, TiN, TiC, TiCN) (группа ВL по ГОСТ Р ИСО 513—2019 для нитрида бора). Это позволяет достичь баланса между ударопрочностью и износостойкостью режущего инструмента.

Целью данного исследования является определение твердости и трещиностойкости экспериментального материала (ООО «Микробор») на основе сBN со связующими фазами из карбонитрида титана (TiCN) и алюминия (Al). Для достижения этой цели были проведены экспериментальные исследования, включающие спекание и изготовление образцов для определения твердости по Виккерсу (Hv) и трещиностойкости (K<sub>Ic</sub>), а также определение элементного состава.

Результаты данного исследования могут быть полезными для разработки новых режущих материалов на основе сBN с улучшенными свойствами твердости и трещиностойкости.

В ходе работы использованы следующие исходные компоненты: сBN (КНР, 1–3 мкм) – 65 об. %; TiCN (РФ, 1–5 мкм, после предварительного помола в планетарной мельнице) и Al (КНР, 3–5 мкм, чешуйчатая структура) – 35 об. %. После смешивания исходных порошков в петролейном эфире с парафиновым связующим, полученный шликер был высушен в распылительной сушилке для получения агрегативно – устойчивых сферических частиц. Далее были изготовлены образцы диаметром 25 мм высотой 7 мм материала на основе сBN со связующими компонентами методом полусухого прессования. Спекание проводили в шестипуансонном кубическом гидравлическом прессе шарнирного типа для синтеза алмазов 6x42000кН (Тип: CS-X1). После чего анализировали микроструктуру готового отполированного композита. Это позволило определить влияние основных компонентов связующей фазы на структурные и прочностные характеристики материала.

Для анализа химического состава в фиксированных областях использовался электронно-ионный микроскоп Helios NanoLab 650, FEI (США). Результаты представлены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

По результатам электронно-микроскопических исследований, представленных на рис. 1, помол и смешивание компонентов шихты не обеспечили равномерное распределение спекающих добавок. Зона 1 представляет собой 30 мкм скопление частиц и предположительно состоит из частиц карбонитрида титана и обогащена железом. Вероятно, агломерация частиц произошла уже на этапе помола, а смешение и последующая сушки шихтовой смеси не обеспечили разрушение агломератов. Наличие атомов железа и кислорода доказывает характерный износ стальных мелющих тел (напол) при измельчении порошка карбонитрида титана. Зона 2 представлена типичной структурой зерно – связка. Как видно в табл. 1, элементы бора и азота в зоне 2 и точке 1, составляют максимальное количество от общего атомного состава. Это означает, что к черным областям относятся зерна cBN, серые – состоят из фаз Al и TiCN, а также их продуктов реакций.

Таблица 1

Результаты элементного микроанализа пластин образца состава cBN – TiCN – Al

Спектр	Selected Area 1		Selected Area 2		Spot 1	
	Масс, %	Атом, %	Масс, %	Атом, %	Масс, %	Атом, %
B	6.04	14.63	27.13	39.38	31.80	41.48
C	8.36	18.20	6.08	7.95	5.88	6.90
N	12.83	23.95	34.45	38.60	45.74	46.05
O	3.82	6.25	2.84	2.78	–	–
Al	0.19	0.18	6.93	6.03	5.66	2.96
Zr	–	–	–	–	4.09	0.63
Ti	58.95	32.19	19.58	6.42	6.07	1.79
Fe	9.81	4.60	2.98	0.84	0.76	0.19

Ниже представлены предполагаемые химические реакции 1–2, в ходе которых образуются следующие продукты: AlN, AlB<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub> и TiN.

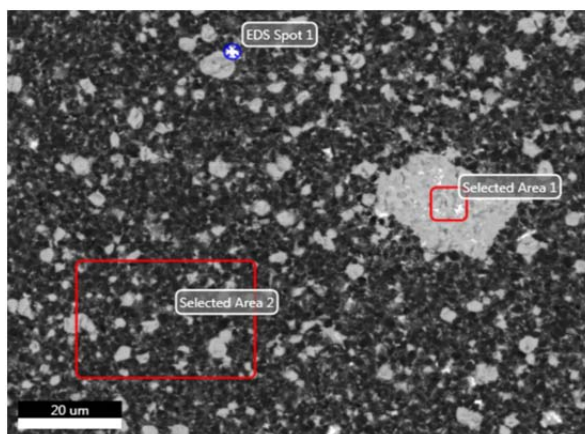


Рис. 1. Спектральный микроанализ пластин образца состава cBN – TiCN – Al

Для определения микротвердости был подготовлен образец  $d = 21$  мм и  $h = 3,15$  мм. Зону с отпечатком после индентирования фиксировали при помощи оптического микроскопа «OLYMPUS BX51» при увеличении  $100^{\times}$ . Измерения твердости по Виккерсу (Hv/ГПа) выполнены в соответствии с международным стандартом ASTM E384. Твердость рассчитывали по формуле 1:

$$H_v = 1,8544 \frac{P}{d^2}, \quad (1)$$

где,  $P$  – приложенная нагрузка (Н);  $d$  – среднее значение длины двух диагоналей для вдавливания по Виккерсу (мкм).



Измерения проводили при нагрузках 1, 3 и 5 кгс (по 5 уколов на каждую нагрузку) на микротвердомере (Durascan g20) на инденторе Виккерса с углом при вершине четырехгранной пирамиды  $136^\circ$  в течении 15 с (рис. 2). Просматривается так называемый «масштабный эффект при вдавлении» (indentation size effect), когда при малых нагрузках наблюдается существенная зависимость твердости от нагрузки (при повышении нагрузки твердость уменьшается, зависимость постепенно выходит на плато) [4]. В нашем случае твердость уменьшается от 46,6 ГПа (при нагрузке 1 кгс) и 38,3 ГПа (при нагрузке 3 кгс) до 35,7 ГПа (при нагрузке 5 кгс).

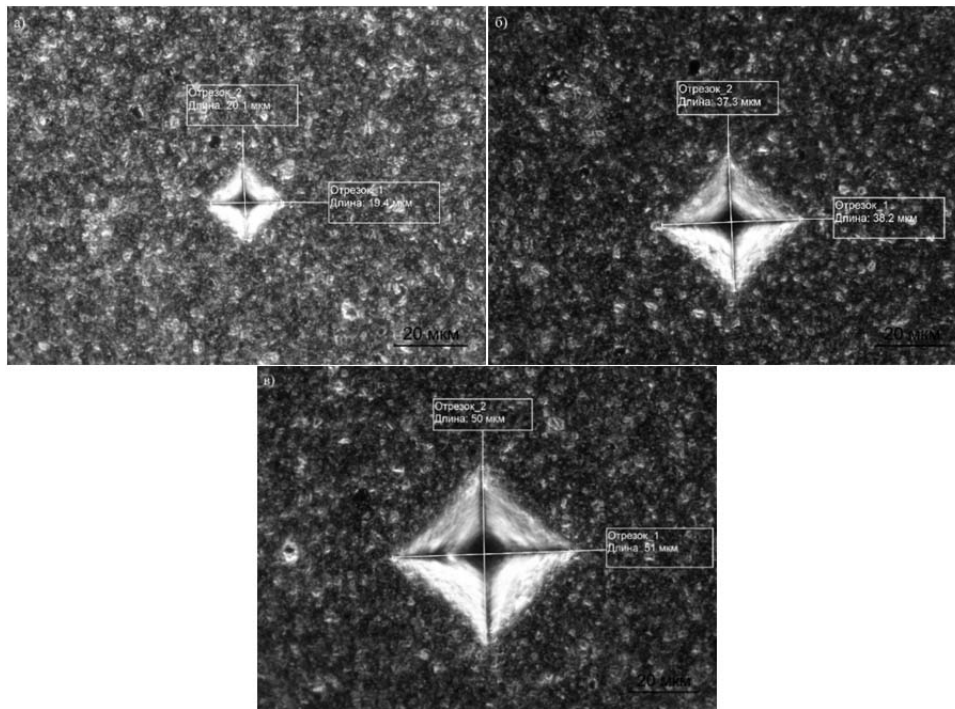


Рис. 2. Снимки микроструктуры материала после индентирования пирамидой Виккерса: а) 1 кгс; б) 3 кгс; в) 5 кгс. Темное поле (DF). Увеличение  $100\times$

Трещиностойкость  $K_{Ic}$  ( $\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ) рассчитывали по уравнению 2 по полудлине трещины  $c$  (мкм), образовавшихся по углам отпечатков (рис. 3) [5]:

$$K_{Ic} = 0.016 \left( \frac{E}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{P}{c^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала на основе cBN (ГПа) [6];  $c$  – средняя полудлина трещин (мкм).

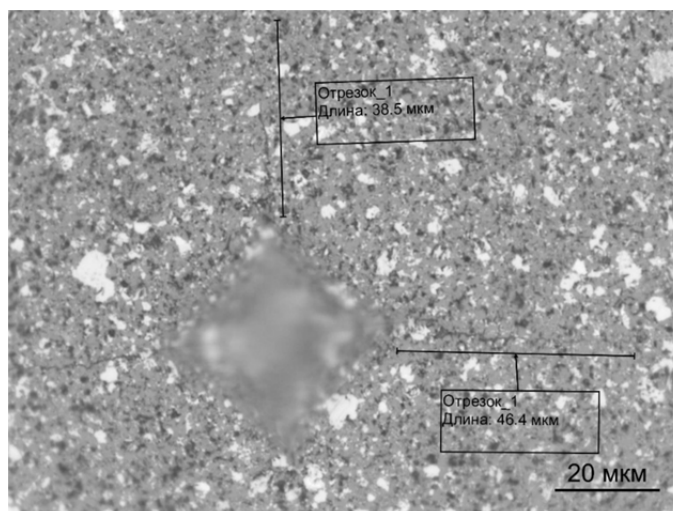


Рис. 3. Снимок трещин после индентирования пирамидой Виккерса при нагрузке 5 кгс. Светлое поле (BF). Увеличение  $100\times$

Значение  $K_{Ic}$  полученного материала составляет 8,5–9,2 МПа·м<sup>0,5</sup> для нагрузок 3 и 5 кгс. Расчет трещиностойкости для 1 кгс отсутствует в связи с затруднением фиксирования трещин. В отличие от твердости, трещиностойкость, рассчитанная по уравнению Ниихара [7], в первом приближении не зависит от нагрузки на индентор и может измеряться при любых нагрузках в диапазоне от 3 до 5 кгс.

Таким образом, анализ структуры материала показал хорошее распределение компонентов на границе зерно – связка. Также, наблюдаются крупные области, в основном состоящие из скопления зерен TiCN.

Получен композит с высокими показателями твердости и трещиностойкости. Приведенные выше результаты подтверждают, что технологическая подготовка компонентов, выбор связующего и его содержания имеет большое значение для процесса спекания и механической прочности материалов на основе cBN. Связующее влияет на связь между зернами cBN и играет решающую роль в упрочнении композитов.

### Список литературы

1. Qian J. Graphitization of diamond powders of different sizes at high pressure-high temperature / J. Qian, C. Pantea, J. Huang, T.W. Zerda, Y. Zhao // *Carbon*. – 2004. – V. 42. – P. 2691–2697.
2. Yin S. Microstructure and sintering mechanism of sintered cubic boron nitride materials / S. Yin H.Y. Lai X.C. Cheng // *Chin. Ceram. Soc.* – 1984. – V. 12 (4). – P. 450–455.
3. Maweja K., Cornish L.A, Can N. Polycrystalline cubic boron nitride sintered with Ti (C, N)-W-Al mechanically alloyed binders[J]. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2012, 32 (13). P. 3593–3601.
4. Karsten Durst, Björn Backes, Oliver Franke, Mathias Göken. Indentation size effect in metallic materials: Modeling strength from pop-in to macroscopic hardness using geometrically necessary dislocations // *Acta Materialia*. V. 54, I. 9, 2006, P. 2547–2555.
5. Tanaka K., Elastic/plastic indentation hardness and indentation fracture toughness: the inclusion core model // *Journal of Materials Science*. V. 22 (4). 1987. P. 1501–1508.
6. Klimczyk P. Cubic boron nitride based composites for cutting applications / P. Figiel, I. Petrusza, A. Olszyna // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. V. 44. 2011. P. 198–204.
7. Niihara K. Evaluation of  $K_{Ic}$  of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios / K. Niihara, R. Morena, D.P.H. Hasselman // *Journal of Materials Science*. V. 1. 1982. P. 13–16.



## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНОГО ШВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Юсуфбеков А.А.<sup>1</sup>, Колесникова К.А.<sup>2</sup>, Гальченко Н.К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ОмШ, 4АМ2К

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ОмШ, к.т.н., доцент,

E-mail: kak30@tpu.ru

<sup>3</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, с.н.с., к.т.н

Большое количество публикаций, посвященных исследованию процесса сварки, убедительно показывают, что высокое качество и работоспособность соединений зависят в значительной степени от метода и технологии сварки [1]. Наиболее перспективной технологией является электронно-лучевая сварка (ЭЛС), обладающая широкими технологическими возможностями.

В работе были запланированы и частично проведены эксперименты по изучению различных схем легирования сварного шва при ЭЛС.

Выбор составов порошковых материалов был обусловлен следующим: механическая смесь медного порошка М1 (60 %вес.) и железного (40 %вес.) при сварке обеспечивает получение шва, по составу и физическим свойствам близкого к основному металлу. Из данных работы [2] следует, что для получения наиболее работоспособных соединений необходимо, чтобы металл шва содержал 5–45 % Fe. Порошки из бронзы Бр Х0,8 и никельхромового сплава ПР-НХ15СР2 имеют в своих составах в микроколичествах легирующие элементы, являющиеся сильными раскислителями, которые после сварки не остаются в составе твердых растворов, а образуют соединения, повышающие механические свойства сварного шва.

По результатам исследований, первичной структуры сварного шва, выполненного с присадочным материалом из Бр Х0,8, установили наличие нескольких характерных зон микроструктуры по высоте шва, отличающихся различным направлением и формой первичных кристаллитов, указывающих на структурную неоднородность (рис. 1, а, б).

В верхней части сварного шва (рис. 1, а) на границе раздела сварной шов-медь прилегающая область структуры шва представляет собой зернистую структуру. Нижняя зона в поперечном сечении состоит из столбчатых кристаллитов, срастающихся между собой (рис. 1, б). Их оси направлены параллельно между собой и перпендикулярны линии сплавления. Изменение морфологии структурных составляющих по глубине шва свидетельствует об изменении характера процесса кристаллизации.

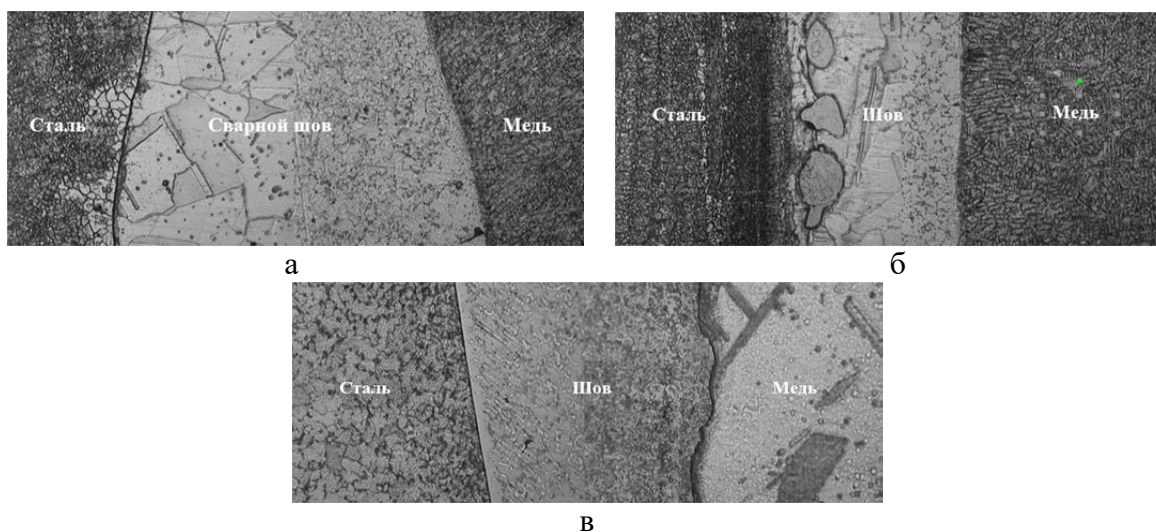


Рис. 1. Микроструктура верхней части сварного шва на границе раздела сталь-шов-медь (а); нижней части сварного шва на границе раздела сталь-шов-медь (б) (материал шва Бр Х0,8); на границе раздела сталь-шов-медь (в) (материал шва ПР-НХ15СР2)  $\times 500$

Уменьшение размеров структурных составляющих и их срастание в нижней части шва говорит о повышении скорости охлаждения и кристаллизации в этой области в связи с уменьшением сечения канала проплавления, изменением интенсивности теплоотвода и градиентом температур на фронте кристаллизации. Несмотря на то, что трещин и дефектов в структуре сварного шва нами не обнаружено, практика анализа разрушений показывает, что горячие трещины, как правило, возникают именно в таких структурах по линиям стыка кристаллитов, по границам ячеек и дендритов, образуя зоны слабости по оси шва. Следует отметить так же наличие в нижней и корневой частях сварного шва проникающих областей бронзы в медь (рис. 1, б).

Твердость сварного шва, выполненного с присадочным материалом из бронзы, составляет: основной металл (Ст. 3) – 150–300 HV; металл шва (бронза) 250–350 HV; основной металл (медь) в зоне сплавления 200–300 V.

Микроструктура сварного шва, выполненного с использованием присадочного материала из никельхромового сплава ПР-НХ15СР2 представлена на рис. 1, в. Из рисунка видно, что границы раздела свободны от дефектов и пор. При сварке формируется дендритообразная структура  $\gamma$ -твердого раствора на основе Ni. Структура сварного шва меняется по его глубине. По мере увеличения температуры и времени существования сварочной ванны расплава размер эвтектических колоний, формирующихся при их охлаждении, увеличивается верхней области шва.

Так же в структуре, по данным РФА, содержится тригональный карбоборид  $Me_7(CB)_3$  в виде скелетообразных дендритов. Твердость сварного шва, выполненного с использованием присадочного материала ПР-НХ15СР2 находится в пределах 450–700 HV.

Во всех случаях металлографический анализ сварных соединений показал, что на оптимальных режимах сварки обеспечивается хорошее формирование швов при отсутствии в них макро и микроскопических дефектов, т. е. исследуемые присадочные материалы позволяют получить при ЭЛС сварные соединения с достаточной стойкостью против образования горячих трещин. Но использование высоколегированных присадочных материалов, способных в процессе сварки создавать твердые и хрупкие химические соединения, являющиеся при определенных условиях ведения сварки концентраторами напряжений, может привести к растрескиванию и разрушению сварного шва в процессе эксплуатации.

Применение многопроходной электронно-лучевой сварки плавлением с подачей в сварочную ванну присадочного порошкового материала позволило постепенно заполнять «разделку», обеспечить «мягкий» термический цикл и избежать возникновения существенных напряжений в зонах термического влияния. Это, в конечном счете, способствовало повышению качества сварных соединений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009.

### **Список литературы**

1. Патон Б.Е., Бондарев А.А.. Современное состояние и новые технологии электронно-лучевой сварки конструкций // Автомат. сварка – 2004. – № 11. – С. 23–31.
2. Шутов Б.А., Ерохин А.А. Об оптимальном составе шва при сварке плавлением меди с низкоуглеродистой сталью // Автоматическая сварка – № 11. – 1970. – С. 71–73.

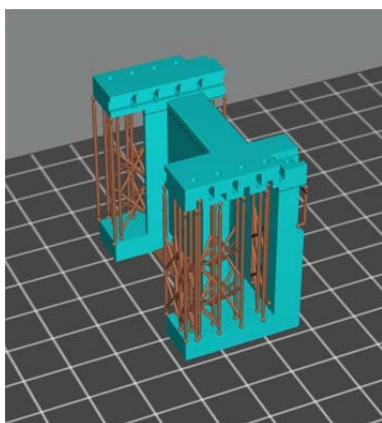
## ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Сидоренко А.А.<sup>1</sup>, Кунес К.<sup>2</sup>*  
*<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ гр. 4НМ31,*  
*Е-mail: aas292@tpu.ru;*  
*<sup>2</sup>ТЭПК, группа 0137з,*  
*Е-mail: ms.kkiissss@yandex.ru*

Трехмерная печать является одной из самых перспективных инноваций, которая может найти применение в любой сфере. При помощи 3D-печати можно создавать детали любой формы, что делает эту технологию еще более востребованной. Использование в производственном процессе универсальных промышленных принтеров для трехмерного изготовления позволяет повысить эффективность производственного процесса, снять ограничения со сложных геометрий, производство которых затруднительно классическими методами, увеличить ассортимент производимой продукции или переориентировать производственный процесс из одной отрасли в другую в сжатые сроки. В зависимости от выбора средств технического оснащения, вида используемого в производственном процессе материала, требований к качеству и конечным свойствам готового изделия существует множество разновидностей аддитивной печати, среди которых можно выделить высокоточные технологии отверждения фотополимерных составов.

Немного о способе печати. Фотополимерный 3D-принтер – это тип технологии 3D-печати, в которой для создания объектов используется светочувствительная смола. Вместо традиционной нити или порошка в фотополимерных принтерах используется жидкая термоактивная смола, представляющие собой смесь трех основных компонентов: олигомеров, мономеров и фотоинициаторов. Использование смол позволяет повысить детализацию и сложность создаваемых объектов, поскольку смолой можно точно управлять с помощью программного обеспечения принтера.

Фотополимерная смола используется для 3D-печати по технологиям SLA, LCD, DLP. Использование данного материала и технологии печати базируется на одном свойстве изначально жидкой фотополимерной смолы – затвердевать при облучении материала световой волной определенной длины. То есть эти вещества способны менять свое агрегатное состояние под действием ультрафиолета. При этом фотополимерные смолы отличаются по своим физико-механическим характеристикам, что позволяет получать изделия с различными свойствами.



*Рис. 1. Трехмерная модель в САПР и напечатанный вариант*

Фотополимеры применяются при изготовлении деталей, приборных панелей, корпусов, протезов в стоматологии, печатей и штампов. При этом данные расходные материалы позволяют создавать изделия, отличающиеся гладкой поверхностью. На первом этапе трехмерная модель проектируется в файле системы автоматизированного проектирования

(САПР) (рис. 1). После чего фасетированная геометрия разрезается на слои с заданной толщиной или адаптивно, т. е. регулируется по сложности геометрии. Высота слоя определяет горизонтальные поперечные сечения модели, которая готовится к печати. Сечение тела визуально представлено в виде контуров, точно повторяющих очертания объекта. На основе координатных контурных линий формируется файл системы САПР для расчета траектории движения оптической системы и рабочей поверхности построения, которые в комплексе воспроизводят соответствующий горизонтальный участок на поверхности жидкого фотоотверждаемого компаунда.

На втором этапе процесса происходит изготовление изделия путем послойного отверждения жидкой фотоотверждаемой смолы под действием лазерного или экранного облучения УФ или видимым светом. Излучение точно или потоком направляется на поверхность в соответствии с заданными кодом SLI-формата контурами, в результате чего фотоинициаторы в составе смолы, поглощая энергию излучения, генерируют свободные радикалы или другие химически активные вещества, которые в свою очередь инициируют сшивку жидкого мономера. После каждого этапа отверждения контура рабочей поверхности платформа смещается на толщину слоя и этап повторяется слой за слоем.

Широкое применение получила данная печать в машиностроении. С помощью данного принтера можно легко создать прототип детали, которая послужит матрицей для создания литейной формы. Полимеризованная смола является диэлектриком, способная выдерживать прямое воздействие электрического тока. Благодаря этому детали из фотополимерной смолы используются для создания трансформаторов, используемых в источниках высокого напряжения. При этом некоторые виды смол устойчивы к высоким температурам в течении длительного воздействия.

В современной 3D-печати, помимо УФ- и фотоотверждаемых фотополимеров, все шире используются керамонаполненные. Керамику можно рассматривать как один из особо перспективных материалов для аддитивного производства. Она используется, в частности, как наполнитель фотополимерной смолы в лазерной стереолитографии.

После этапа печати полимерная составляющая такого материала подвергается выжиганию, что позволяет получить керамические изделия с уникальными свойствами: с заданной пористостью, повышенной жесткостью, прочностью и термостойкостью.

Благодаря физическим и химическим свойствам фотополимерные смолы способны заменить собой ныне известные материалы. В некоторых случаях керамику, благодаря своим диэлектрическим свойствам, в некоторых случаях фторопласт. При применении данной технологии нет необходимости точить деталь из пластика, форма которой ограничена возможностью станка. Создавая любую форму из необходимой смолы, мы способны получить, деталь соответствующей формы и отвечающей всем требованиям, в максимально короткие сроки, что ускоряет рабочий процесс.

### **Список литературы**

1. Ходер В.Б. Наполненные фотополимерные композиции для 3D-печати методом стереолитографии (обзор) / В.Б. Ходер, Е.И. Кордикова, Г.Н. Дьякова // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 1(253). – С. 27–32. – DOI 10.52065/2520-2669-2022-253-1-27-32.
2. Симачук А.С. Процесс постобработки изделий после фотополимерной 3D-печати / А.С. Симачук // Обществознание и социальная психология. – 2022. – № 10(40). – С. 151–154.
3. Калиш П.Э. Применение аддитивных технологий при изготовлении оснастки для литья композитов / П.Э. Калиш // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 589–594. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-12-589-595.
4. Дожделев А.М. Обзор фотополимерных материалов для 3D печати методом стереолитографии / А.М. Дожделев, А.Ю. Лаврентьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 9–2(48). – С. 99–101. – DOI 10.24411/2500-1000-2020-11035.

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БЫЛО, ЕСТЬ К ЧЕМУ СТРЕМИТЬСЯ

*Ураймахунов Р.Р., Сорокова С.Н.  
НИИ Томский политехнический университет, ИШНПТ*

Аддитивные технологии (также известны как 3D-печать, АТ) представляют собой метод получения объекта из трехмерной модели путем последовательного послойного нанесения материала. При этом в качестве материала могут выступать: пластик, металл, бетон, полимеры и даже биоматериалы.

На данный момент 3D-печать является одним из наиболее развивающихся направлений по созданию моделей и получает широкое применение как в производстве, так и в быту. Более того, в последние годы проходят эксперименты по созданию моделей человеческого тела. Например, в 2019 году ученые с помощью биологического 3D-принтера смогли напечатать полностью функционирующее человеческое сердце малых, порядка 2,5 сантиметров, размеров. Это считается прорывом, открытием в мире науки и медицины, ведь раньше такое было сложно даже представить. Как раз, поэтому многие эксперты считают, что будущее стоит именно за аддитивными технологиями.

Говоря об актуальности использования аддитивных технологий, нельзя не упомянуть про первый, в мире полностью напечатанный на 3D-принтере электрокар, от итальянской компании XEV, использование АТ неизвестной компанией Siemens для создания качественного электрооборудования, а компания Boeing на данный момент уже изготовила более двадцати тысяч деталей для своих самолетов и активно продолжает использовать 3D-печать для обеспечения высокого качества по меньшей себестоимости.

Чем же хороши АТ?

Многофункциональность. Поскольку аддитивные технологии – это послойное нанесение материала, они позволяют получать нестандартные формы объектов, сложные и абсолютно новые детали с высокой точностью, которые обычными методами производства получить было бы крайне затруднительно, если не невозможно. Помимо этого, в качестве сырья используется довольно широкий диапазон материалов, что, безусловно, является еще одним сильным преимуществом.

Сокращение трудоемкости и затрат времени. С появлением аддитивных технологий стало куда проще и быстрее создавать детали. К примеру, на создание одного поршня двигателя внутреннего сгорания в условиях стандартного традиционного производства уйдет примерно неделя, в то время как с помощью АТ немецкая компания Mahle создала рабочую деталь, проверенную на машине, примерно за двенадцать часов.

Улучшенные характеристики деталей. Разработчики поршней компании Mahle из пункта выше утверждают, что на самом деле технология 3D-печати помогла обеспечить повышенную прочность и улучшенную систему охлаждения, а также снизить массу детали на десять процентов и повысить обороты двигателя, что в итоге привело к увеличению мощности на тридцать лошадиных сил.

Также использование АТ исключает человеческий фактор и, соответственно, риски и ошибки. 3D-принтер на девяносто девять процентов повторяет заданную модель, в то время как в традиционном производстве имеется огромное количество факторов, включая человеческий, которые потенциально могут стать причиной брака или, что еще хуже, несчастного случая.

Однако, несмотря на столь важные преимущества, у данного типа производства есть существенные недостатки. Рассмотрим их ниже.

Ограничение по материалам. Да, спектр используемого сырья при 3D-печати действительно широк, но, тем не менее, далеко не все материалы совместимы с процессом печати, что, как следствие, сужает область применения АТ в машиностроении.

Ограничение по габаритам детали. С небольшими деталями 3D-принтер справляется на ура, но что касается крупных деталей или конструкций, тут преимущество у традици-

онного производства. Более того, можно заметить, что себестоимость продукции, напечатанной на 3D-принтере, с увеличением габаритов растет в геометрической прогрессии, что связано в первую очередь с оборудованием, поскольку предел размеров зависит от допускаемого разрешения рабочего стола принтера.

Относительно низкая производительность. Как мы выяснили, скорость получения готового изделия при применении аддитивных технологий выше, чем при применении традиционных методов производства. Но если рассматривать крупносерийное производство, АТ снова проигрывает. Ограниченность в габаритах детали тоже находит свой след в снижении производительности. Как пример, вышеупомянутая компания Boeing признается, что создавать детали было бы быстрее традиционными методами, но АТ выигрывает в качестве и себестоимости.

Тем не менее, аддитивные технологии каждый день улучшаются. Ученые находят новые виды материалов, совместимые с 3D-печатью, улучшают скорость и точность печати, что в конечном итоге, по прогнозам исследователей, приведет к увеличению качества продукции при уменьшении ее стоимости в очень малые сроки.

Безусловно, АТ – это инновационный подход к производству как в машиностроении, так и в остальных немаловажных сферах. То, что ранее было сложно представить, сейчас является более чем реальным с помощью аддитивных технологий. Сложные детали и конструкции, компоненты и даже целые автомобили можно получить 3D-печатью. В скором будущем аддитивные технологии найдут более широкое применение в машиностроении, открывая новые возможности для инженеров и дизайнеров.

#### **Список литературы**

1. Учёные напечатали на 3D-принтере работающее сердце / Science & Future.
2. MAHLE 3D-printed pistons for the PORSCHE 911 GT2 RS – YouTube.
3. Аддитивные технологии в машиностроении: инновации, преимущества и перспективы (nauchniestati.ru).
4. Аддитивные технологии. Виды, особенности, характеристики аддитивных технологий (extxe.com).

**СЕКЦИЯ 5**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**



## КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРОЕННОГО ДЕФЛЕГМАТОРА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Баяндина М.М.<sup>1</sup>, Кустов А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, просп. им. газ. «красноярский рабочий», 31, группа БПХ22-02

E-mail: bayandinamaria@yandex.ru;

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, просп. им. газ. «красноярский рабочий», 31, доцент

E-mail: bayandinamaria@yandex.ru

Для малотоннажных ректификационных колонн, применяемых в лабораторных условиях, для достижения высокой эффективности работы целесообразно применять встроенные дефлегматоры. Основное назначение дефлегматора – частичная конденсация паров и получение температуры флегмы, близкой к температуре паровой смеси в зоне конденсации. Наиболее эффективным является дефлегматор, выполненный из трубок в виде спиралей Архимеда (рис. 1). Поверхность теплообмена составляла  $F = 0,35 \text{ м}^2$ , расход воды варьировался от 0,07 до 0,2 м<sup>3</sup>/ч.

В настоящей работе рассматривается задача определения коэффициентов теплоотдачи в дефлегматоре на основе экспериментальных данных, полученных в работе. Дефлегматор выполнен из медной трубка с диаметром – 8×1 мм.

Коэффициенты теплопередачи ( $K$ ) и теплоотдачи ( $\alpha_1$ ) определялись из общеизвестных зависимостей:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{cp}}; \quad (1)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $F$  – площадь теплообмена, м<sup>2</sup>;  $\Delta t_{\text{cp}}$  – средняя разница между температурами горячего и холодного теплоносителей, К;  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки трубки,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя (пара) к стенке,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи от стенки к холодному теплоносителю (вода),  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

По итогам обработки экспериментальных данных, полученных в работе [1] удалось установить, что изменения коэффициентов от величины критерия Рейнольдса имеет степенную зависимость и изменяется в пределах

В дальнейшем было проводилось математическое моделирование работы дефлегматора в случае использования в случае изменения одного из параметров: охлаждающая жидкость (рис. 1, а), диаметр трубок дефлегматора (рис. 1, б) материала выполнения трубок дефлегматора (рис. 1, в)

Как видно из приведенных графиков, при изменении охлаждающей жидкости сопоставимыми величинами коэффициентов обладает этиленгликоль при этом режим течения жидкости изменится на ламинарный.

В случае изменения материала дефлегматора величины коэффициентов теплоотдачи для дефлегматора, выполненного из меди, а также моделирование для латуни и алюминия дают близкие друг к другу значения. Это связано с тем, что данные материалы имеют близкие значения коэффициентов теплопроводности.

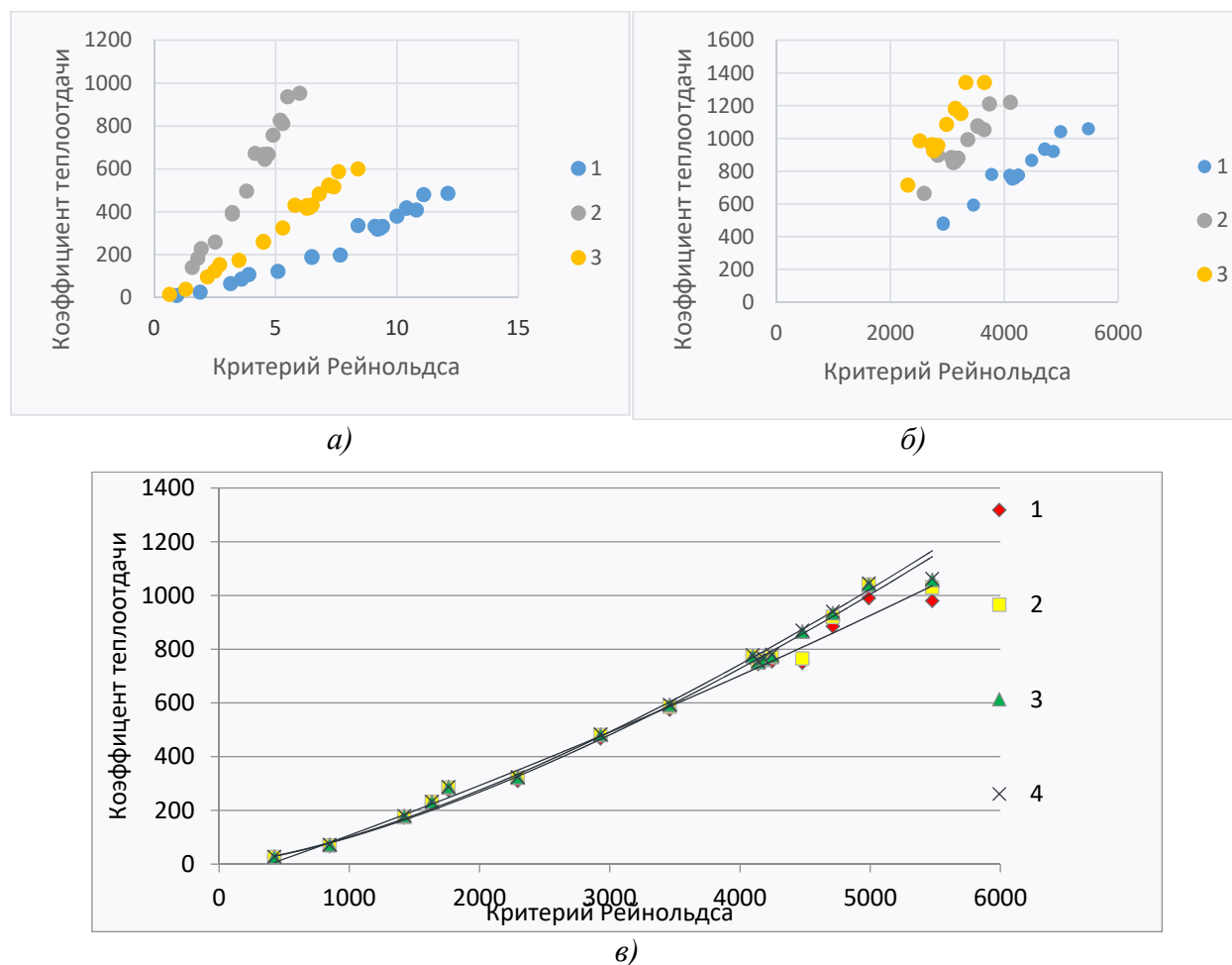


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от критерия Рейнольдса при изменении охлаждающей жидкости: а – изменена охлаждающая жидкость 1 – гексан; 2 – этиленгликоль; 3 – глицерин; б – изменена диаметр трубок дефлегматора; 1 –  $d = 8 \cdot 1$ ; 2 –  $d = 10 \cdot 1$ ; 3 –  $d = 12 \cdot 15$ ; в – изменен материал выполнения дефлегматора: 1 – никель, 2 – латунь, 3 – медь, 4 – алюминий

При изменении диаметров трубок, происходит смещение значений коэффициентов теплоотдачи, что связано с тем, что при увеличении диаметра трубок происходит снижение коэффициент Рейнольдса.

### Список литературы

1. Кустов А.В. Гидродинамика и массообмен на вихревых ректификационных ступенях при переработки растительного сырья: дис. ... канд. техн. наук; 05.21.03. – Красноярск: СибГТУ, 2010.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химических технологий // учебник для вузов. – М.: Химия, 1973. – 750 с.
3. Баяндина М.М. Определение коэффициентов теплоотдачи для встроенного дефлегматора ректификационной колонны. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2023 г. – С. 271–273.
4. Баяндина М.М., Кустов А.В. Исследование коэффициента теплопередачи встроенного теплообменника ректификационной колонны. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. 2023. – С. 188–193.

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ POWERFACTORY: МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Гордин С.А., студент 6 курса кафедры горных машин и комплексов, техник  
НИЛ ЦТПМСК, Кузбасский государственный технический университет  
им. Т.Ф. Горбачева.*

E-mail: gordinsa@kuzstu.ru;

*Мотовилов Е.С., студент 6 курса кафедры горных машин и комплексов, техник  
НИЛ ЦТПМСК, Кузбасский государственный технический университет  
им. Т.Ф. Горбачева.*

E-mail: motoviloves@kuzstu.ru;

*Воронин В.А., доцент кафедры кафедра электроснабжения горных и промышленных  
предприятий, старший научный сотрудник НИЛ ЦТПМСК, Кузбасский государственный  
технический университет им. Т.Ф. Горбачева.*

E-mail: voroninva@kuzstu.ru

В данной статье рассматривается специальное программное обеспечение Power Factory (далее – ПО) как ведущий инструмент, предназначенный для анализа систем генерации, передачи, распределения электроэнергии в системах электроснабжения. ПО включает в себя широкий спектр функций: расчет установившихся электрических режимов, расчет токов короткого замыкания, квази-динамическое моделирование электрических режимов, расчет электромагнитных и электромеханических переходных процессов, расчет показателей надежности, расчет ветроэнергетики, распределенной генерации, моделирование в реальном времени и мониторинг производительности [1].

Метод расчета надежности системы электроснабжения с использованием Power Factory, с помощью инструмента оценки надежности, также известного как «Анализ надежности», состоит из следующего: моделирование отказов, моделирование нагрузки, анализ последствий отказа (FEA), статистический анализ, отчеты [2]. Исходные данные для расчета включают схему электроснабжения, данные об оборудовании, параметры электроприемников, длину линий электропередачи, данные о трансформаторах, интенсивность отказов, среднее время восстановления и тарифы на электроэнергию.

Надежность электроснабжения является одним из ключевых факторов для шахт, поскольку электричество является жизненно важным и неотъемлемым источником энергии для основных процессов добычи и обработки полезных ископаемых. В случае отключения электроэнергии на шахте возникают серьезные проблемы, которые влияют на безопасность, производительность и экономику шахтных операций. Аварийные отключения электроснабжения на шахтах могут быть вызваны различными причинами, такими как технические сбои в электрооборудовании, повреждения силовых линий из-за погодных условий или внешних воздействий, недостаточное техническое обслуживание оборудования и другие факторы [3–4].

Этапы моделирования системы электроснабжения шахты с помощью Power Factory, включая построение схемы электроснабжения и задание параметров, представлены ниже. Важно соблюдать соответствие параметров с исходными данными для получения корректного результата [5].

Первым этапом моделирования системы электроснабжения шахты является задание схемы электроснабжения в ПО Power Factory. Для построения схемы была использована принципиальная схема электроснабжения одной из шахт Кузбасса. Схема представлена на рис. 1. В упрощенном виде схема была построена в ПО Power Factory. Схема представлена на рис. 2.

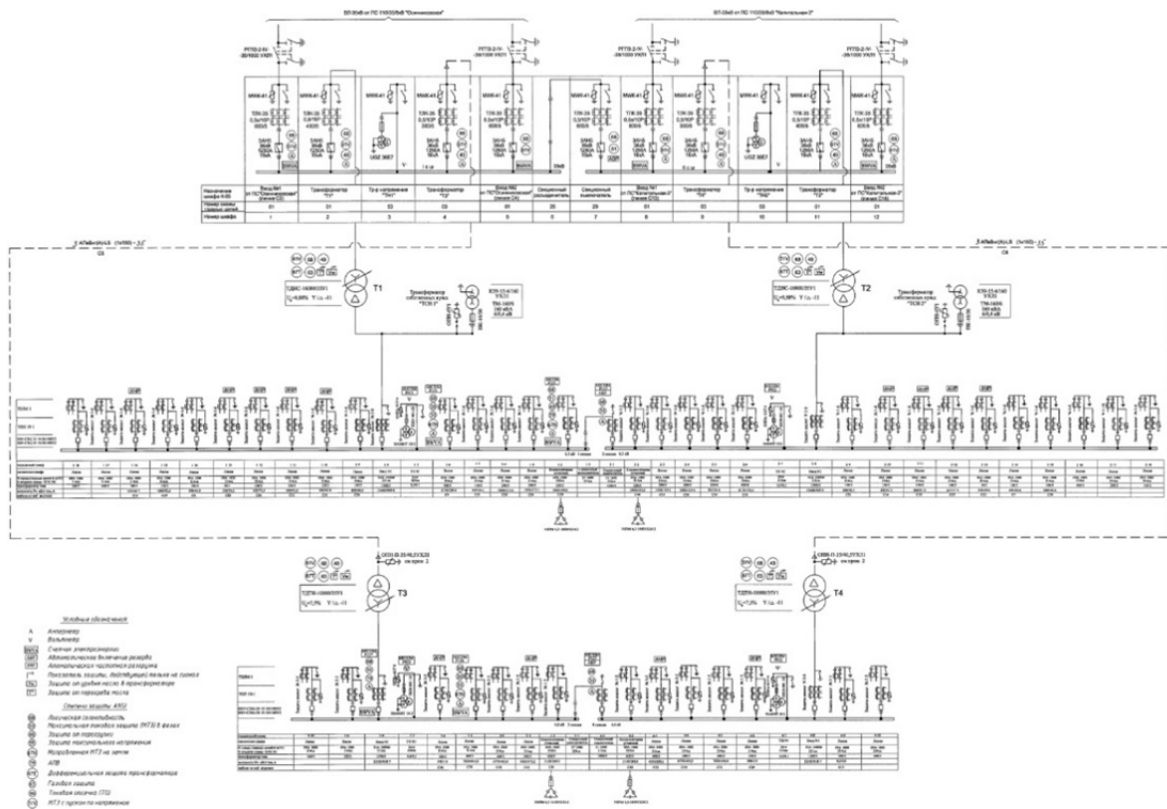


Рис. 1. Принципиальная схема электроснабжения одной из шахт Кузбасса

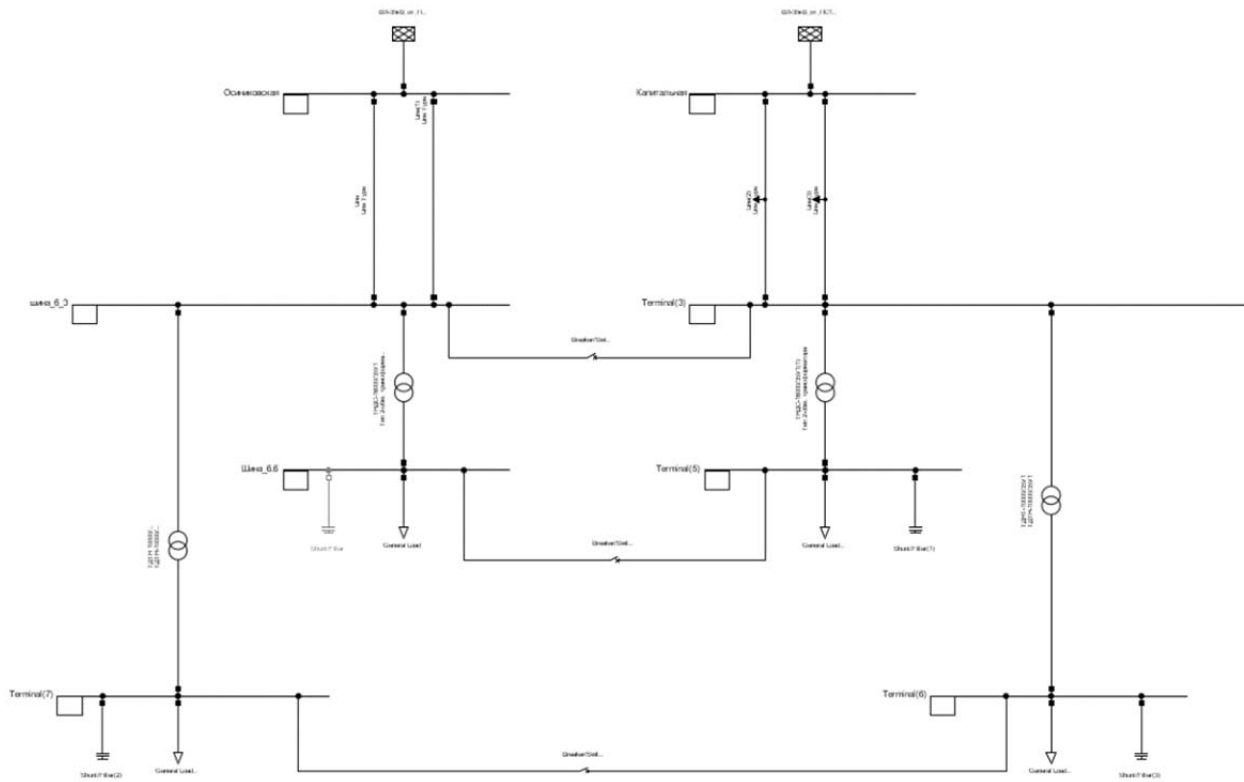


Рис. 2. Упрощенная схема электроснабжения шахты, построенная в ПО Power Factory

На втором этапе необходимо задать параметры в каждом блоке модели с учетом исходных данных. Окно ввода параметров представлено на рис. 3. Этот процесс необходим для корректной работы модели. Задача состоит в том, чтобы параметры соответствовали параметрам исходной схемы для получения правильных результатов. Каждый блок отличается от другого, хотя требуемые значения параметров могут быть схожими, их значения все равно должны быть соответствующими [6].

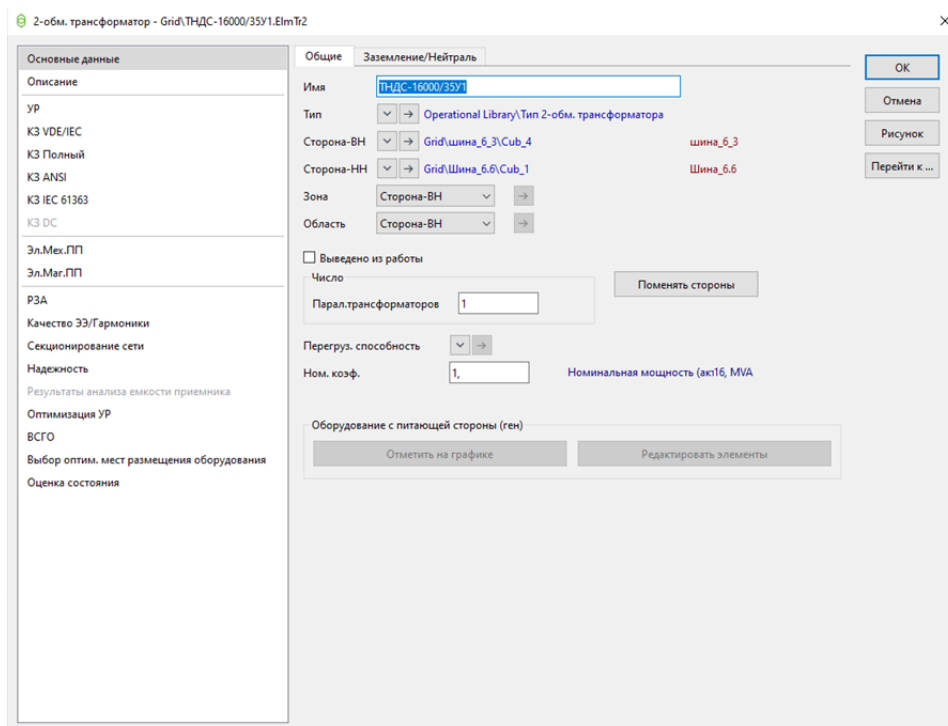


Рис. 3. Пример программного окна для введения параметров

Третий этап. Снятие показаний. Результаты расчета и моделирования выводятся в «Окно результатов». При выполнении операции «Анализ надежности» программа выдает следующие значения, представленные на рис. 4.

		DigSILENT	Проект :
		PowerFactory	-----
		2021 SP4	Дата: 29.05.2023
<b>Оценка надежности</b>			
Метод	Анализ связанности		
Расчет на временном промежутке	2022		
Учитывать техобслуживание	Нет		
Порядок переключений	Параллельно		
Учет секционирования (Шаги 1-3)	Да		
Время размыкания дистанц. управляемых КВ	1,00 min.		
Выбор	Вся система		
Шины / Терминалы	Да	Групповые отказы	Нет
Линии / Кабели	Да	Независимые отказы n-2	Нет
Трансформаторы	Да	Двойное замыкание на землю	Да
		Отказы защит/выключателей	Нет
<b>Показатель Средней Частоты Перерывов эл.снаб. Системы:</b> SAIFI = 11,000000 1/Ca			
<b>Показатель Средней Частоты Перерывов эл.снабж. Потреб.</b> CAIFI = 11,000000 1/Ca			
<b>Индекс средней продолж. перерывов ээ по Системе :</b> SAIDI = 15,000 h/Ca			
<b>Показатель Средн. Продолж. Перерывов эл.снабж. Потреб.</b> CAIDI = 1,364 h			
<b>Средний Показатель Эксплуатационной Готовности :</b> ASAI = 0,9982876712			
<b>Средний Показатель Эксплуатационного Простоя :</b> ASUI = 0,0017123288			
<b>Недоотпуск Электроэнергии :</b> ENS = 38,390 MWh/a			
<b>Средний Недоотпуск Электроэнергии :</b> AENS = 4,799 MWh/Ca			
<b>Индекс среднего снижения потребления :</b> ACCI = 5,384 MWh/Ca			
<b>Ожидаемые Издержки от Перерыва Электроснабжения :</b> EIC = 0,000 MUSD/a			
<b>Оценочный Тариф Недоступленной Электроэнергии :</b> IEAR = 0,000 USD/kWh			
<b>Энергия Сброса Системы :</b> SES = 0,000 MWh/a			
<b>Показатель Средней Частоты Перерывов эл.снабж. Системы:</b> ASIFI = 10,000000 1/a			
<b>Показатель Средней Продолж. Перерывов эл.снабж. Системы:</b> ASIDI = 5,000000 h/a			

Рис. 4. Результат выполнения операции «Анализ надежности»

Полученные результаты в дальнейшем могут использоваться для последующего проектирования электрических сетей и расчета ожидаемого ущерба от технологических нарушений. Так же имеется возможность имитации различных аварийных ситуаций и расчета экономических потерь.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021 138/3).

### Список литературы

1. POWERFACTORY APPLICATIONS // digsilent URL: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html> (дата обращения: 21.09.2023).
2. Gonzalez-Longatt, Francisco & Rueda, José. (2021). Modelling and Simulation of Power Electronic Converter Dominated Power Systems in PowerFactory. 10.1007/978-3-030-54124-8.
3. Захаров С.А. Технический аудит сетей внешнего электроснабжения угольных шахт Кемеровской области / С.А. Захаров, В.А. Воронин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 1(119). – С. 83–90. – EDN YIJGGV.
4. Скребнева Е.В. Анализ методов повышения надежности электроснабжения / Е.В. Скребнева // сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 18–21 апреля 2017 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 21062.
5. Gonzalez-Longatt, Francisco & Rueda, José. (2015). PowerFactory Applications for Power System Analysis. 10.1007/978-3-319-12958-7.
6. Семькина И.Ю. Проблемы и пути решения вопросов надежности внешнего электроснабжения угольных шахт / И.Ю. Семькина, Е.В. Скребнева // Journal of Mining Institute. – 2017. – Т. 226. – С. 452–452.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ТКАНИ ПО ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ И ЕГО АВТОМАТИЗАЦИЯ

*Баданов И.К.,*

*докторант PhD специальности 8D07101–Автоматизация и роботизация,  
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет им. К.И. Сатпаева»,  
Институт Автоматики и информационных технологий, 08000, Республика Казахстан,  
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22А  
E-mail: islamcom@mail.ru*

*Баданова Р.Р.,*

*старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология»,  
Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
08000, Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60  
E-mail: roza.badanova1962@mail.ru*

*Тулєндиева Г.О.,*

*старший преподаватель кафедры «Текстиль, материаловедение и стандартизация»,  
Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
08000, Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60  
E-mail: tulendieva\_gulmira@mail.ru*

*Научный руководитель – Баданов К.И.,*

*к.т.н., профессор кафедры «Текстиль, материаловедение и стандартизация»,  
Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,  
Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60  
E-mail: kenzebad@mail.ru*

В настоящее время большинство хлопчатобумажных тканей и тканей из смесей волокон промывают в расправку на линиях, состоящих из 8–9 стандартных промывных коробок. В промывных коробках полотна, движущиеся навстречу друг другу со скоростью до 100 м/мин, и нижние вращающиеся направляющие ролики создают необходимые для процесса промывки ткани гидродинамические условия [1].

Конструкция исследовательских установок, предназначенных для изучения процессов сорбции и десорбции красителей во время промывки и состоящие из замкнутой (в виде трубок) циркуляционной системы и специальной кюветы для фиксации исследуемых образцов в потоке промывного раствора, не позволяют воспроизводить гидродинамические условия, существующие в линиях [2]. Следовательно, закономерности, полученные при изучении процесса промывки с помощью этих приборов, не могут с достаточной степенью достоверности характеризовать процесс, происходящий в промышленном оборудовании. С целью изучения процесса промывки в условиях, максимально приближенных к реально существующим в линиях, предлагается следующая лабораторная установка для исследования кинетики промывки напечатанных и окрашенных тканей.

Установка представляет собой ванну 1 из органического стекла, вместимостью 4,5 л. Держатель образцов выполнен в виде двух параллельно установленных роликов, которые расположены на крышке 2. Верхний обрєзиненный ролик 3 фиксируется в подшипниках качения и имеет привод от электродвигателя постоянного тока 4, что позволяет варьировать частоту его вращения в широких пределах. Нижний ролик из нержавеющей стали укреплен на крышке при помощи кулисного механизма 5. В процессе работы нижний ролик находится в промывной жидкости, поэтому для его крепления к куливному механизму использованы подшипники скольжения из фторопласта. В нижней части ванны находится сливной кран 6.



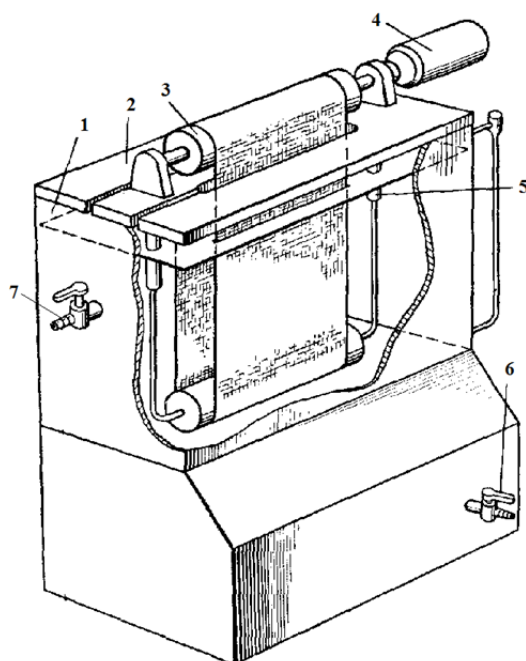


Рис. 1. Установка для изучения процесса промывки тканей

Работа проводится следующим образом: образец окрашенной или напечатанной ткани, размером 9×60 см, сшивается в форме петли. Через прорези в крышке он надевается на направляющие ролики таким образом, чтобы ролики оказались внутри петли. Необходимое натяжение создается перемещением нижнего ролика в кулисном механизме. Чтобы предотвратить разбрызгивание жидкости во время работы установки, на верхний вал надевается прозрачная крышка-отражатель из тонкого органического стекла. Скорость перемещения образца регулируется ручкой, находящейся на верхней панели сопротивления, включенного в сеть питания электродвигателя. В процессе промывки незафиксированный краситель переходит с образца в промывной раствор, изменяя его оптическую плотность. Для колориметрирования небольшое количество промывной жидкости отбирается из промывной ванны через кран 7. Для правильного расчета до или после проведения измерений необходимо найти максимальное количество красителя, которое может десорбировать с испытуемого образца. Для этой цели один из приготовленных образцов промывают в растворе, содержащем 2 г/л ПАВ, при температуре 100 °С до тех пор, пока весь незафиксированный краситель удалится с образца. Затем полученные промывные растворы собирают вместе и разбавляют до 4 л водой. Абсолютное количество красителя, десорбировавшего с волокна, рассчитывают по предварительно построенной калибровочной прямой. Это количество принимается за 100 % -ную промывку. Количество красителя, десорбировавшего с образца в определенный промежуток времени, выражается в процентах по отношению к найденному максимально удаленному количеству красителя.

При проведении экспериментальной работы по промывке ткани температура промывного раствора составляет 70 °С. Скорость перемещения образца в промывной ванне 60 м/мин. Для снятия кинетики процесса промывки [3] дополнительно необходимо использовать фотометр с проточными кюветами. Целесообразно использовать фотометр «Эксперт-003»-Пр (базовый, «Стандарт»). Базовый комплект содержит проточную кювету и насос на базе модели «Стандарт». Данный фотометр предназначен для непрерывного количественного определения в потоке жидкости концентраций различных веществ. Измеряет оптическую плотность для растворов в кюветах или других образцов, помещенных в фотоячейку. Фотометр оснащен дополнительным модулем насос-дозатором НД-01. Он предназначен для перекачивания жидкостей через проточную кювету, установленную в фотометрической ячейке фотометра «Эксперт-003». При использовании данного фотометра были получены результаты в виде кинетических кривых, которые характеризуют кине-

тику промывки трех образцов ткани в идентичных условиях. Воспроизводимость результатов удовлетворительная, ошибка опыта не превышает 3–4 %.

Установка позволяет изучать влияние различных технологических факторов (температуры, времени обработки, моющих препаратов, структуры ткани и др.) на процесс промывки окрашенных и напечатанных тканей. Таким образом, в условиях, максимально приближенных к производственным, можно изучать различные закономерности процессов промывки, а также в короткий срок разрабатывать научно обоснованные эффективные технологические режимы. Данную установку рекомендуется использовать в химических лабораториях отделочных предприятий, научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений.

### **Список литературы**

1. Баданов К.И. и др. Физико-химические закономерности процесса промывки шерсти. / Баданов К.И., Баданова Р.Р., Баданова А.К., Матниязова Г.К., Нурлыбаева А.Н., Сейтпекова Г.А., Калмаханова М.С., Мадимарова Г.Б. – Ж. Известия высших учебных заведений. № 2 (386) Технология текстильной промышленности, 2020. г., Иваново, Россия. – С. 106–110.

2. Кричевский Г.Е. и др. Прибор для автоматической регистрации скорости сорбции и десорбции красителя в процессах крашения и промывки / Кричевский Г.Е., Капланский Ю.Е., Попиков И.В. – Текстильная промышленность, 1971, № 12, с. 40.

3. Баданов И.К., Баданова А.К., Баданов К.И. Алгоритм моделирования автоматизированной микроконтроллерной системы управления технологическим процессом. Научный журнал «Механика и технологии», № 4 (46), октябрь-декабрь 2014 г., С. 18–24.

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СТАТИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ НА ДИАГНОСТИКУ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Баркова Н.А.<sup>1</sup>, Егорова А.Д.<sup>2</sup>, Сокирка А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>СПбГМТУ, доцент, факультет корабельной энергетики и автоматики,  
E-mail: barkova@vast.su;

<sup>2</sup>СПбГМТУ, ассистент, факультет корабельной энергетики и автоматики,  
E-mail: eg.sasha@mail.ru;

<sup>3</sup>СПбГМТУ, студент, факультет корабельной энергетики и автоматики,  
E-mail: al.sokirka\_00@mail.ru

## Введение

Регулируемый электропривод переменного тока со статическими преобразователями напряжения питания активно внедряется в промышленности и в судостроении. Но работающие агрегаты требуют контроля состояния и диагностики, а их выполнять при использовании регулируемого привода гораздо сложнее из-за их многорежимности и мощных помех от статического преобразователя. Эффективной вибрационной диагностике мешает импульсная вибрация, возбуждаемая двигателем при высокочастотной коммутации силового тока на выходе преобразователя. Не всегда помогают технологии синхронного анализа вибрации регулируемого по частоте низкооборотного оборудования с использованием современных датчиков угла поворота ротора. Причины этого и пути преодоления возникающих проблем рассматриваются ниже на примере диагностики эскалаторов со скоростями вращения низкооборотных валов ниже 15 об/мин.

Эффективной диагностикой механических передач с подшипниками качения является вибрационная, анализирующая для обнаружения дефектов спектры низкочастотной вибрации, спектры модулирующих высокочастотную вибрацию процессов и форму импульсной вибрации от ударов. По мере снижения скорости вращения ступеней передачи приходится отказываться сначала от спектров низкочастотной вибрации (ниже 100–150 об/мин), а затем и спектров огибающей высокочастотной вибрации (ниже 10–15 об/мин). Быстрое затухание высокочастотной импульсной вибрации за время, меньшее периода действия колебательных сил ударного происхождения, не позволяет использовать синхронные методы ее накопления при вращении со скоростью менее 12 об/мин. Остается возможность использования для диагностики выходного вала одиночных ударов в подшипниках, но их регистрации мешают более частые удары, формируемые импульсным током.

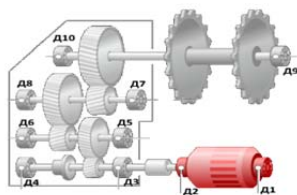


Рис. 1. Кинематическая схема привода эскалатора

В эскалаторах тоннельного типа ЭС02 на станции Санкт-Петербургского метрополитена «Технологический институт – 1» контролируемые узлами являются: асинхронный двигатель главного привода 5АМН280М6У3, 110 кВт с частотой вращения – 16,4 Гц, редуктор трёхступенчатый и главный вал с частотой вращения 0,2 Гц.

Использованы данные измерений вибрации четырех эскалаторов, накопленные в базе данных проходящей опытную эксплуатацию системе вибрационного мониторинга производства Ассоциации ВАСТ, и результаты специальных синхронных исследований вибрации эскалатора и тока электродвигателя. На рис. 2 приведена форма и спектр тока в одной из фаз двигателя.

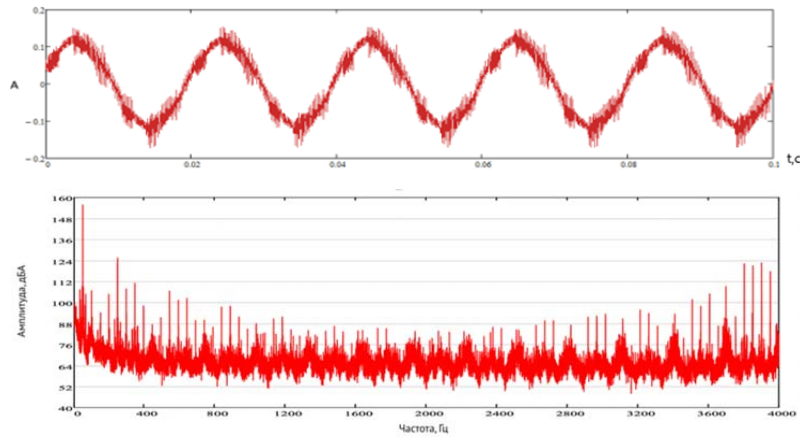


Рис. 2. Форма тока и его спектр до частоты коммутации тока в преобразователе (4000 Гц)

Напряжение преобразователя формируется из прямоугольных импульсов высокой частоты, имеющих постоянную амплитуду и переменную с частотой выходного напряжения скважность. Это приводит к появлению в фазах двигателя основного тока, совпадающего на рабочей скорости движения эскалатора с частотой сети 50 Гц, и импульсного тока с частотой коммутации 4000 Гц, модулированного по амплитуде и частоте.

Простейшую модель амплитудно-модулированного гармонического сигнала можно представить в виде (1):

$$i(t) = i_0 \cos \omega t (1 + m \cos \Omega t) = i_0 \cos \omega t + \frac{m}{2} i_0 \cos(\omega - \Omega)t + \frac{m}{2} i_0 \cos(\omega + \Omega)t, \quad (1)$$

где  $i(t) = i_0(1 + m \cos \Omega t)i$  – огибающая сигнала,  $\Omega$  – частота модуляции ( $\Omega < \omega$ ),  $\omega$  – несущая частота,  $m = (i_{\max} - i_{\min}) / (i_{\max} + i_{\min}) \leq 1$  – глубина модуляции,  $i_{\max}$ ,  $i_{\min}$  – максимальное и минимальное значение сигнала.

Таким образом, амплитудно-модулированный сигнал можно представить суммой гармонических составляющих с частотами  $\omega$ ,  $\Omega - \omega$  и  $\Omega + \omega$ , т. е. кроме составляющей на несущей частоте  $\omega$ , появляются еще боковые составляющие на суммарной и разностной частотах  $\Omega \pm \omega$ . Основную диагностическую информацию в таком сигнале несут частота  $\Omega$  и глубина модуляции  $m$ .

При произвольном модулирующем процессе, модель амплитудно-модулированного сигнала:

$$I(t) = I(t) \cos \omega t = I_0 [1 + m \sum_{k=1}^n i_k \cos(\Omega_k t - \varphi_k)] \cos \omega t, \quad (2)$$

где  $I_0$  – амплитуда модулируемого процесса,  $i_k$  – амплитуда модулирующего процесса,  $m i_k = m_k$  – парциальная глубина модуляции, представляющая собой глубину модуляции для каждой составляющей.

Простейший сигнал с частотной модуляцией можно представить в виде:

$$I(t) = i_0 \cos \{[\omega(1 + m \sin \omega_m t)t + \phi]\}, \quad (3)$$

где  $m$  – глубина модуляции,  $\omega_m$  – частота модуляции.

Для сигнала с фазовой модуляцией имеем:

$$I(t) = i_0 \cos[\omega t + \phi(1 + m \sin \omega_m t)]. \quad (4)$$

Деление на частотную и фазовую модуляцию условно, т. к.  $\omega = d\varphi / dt$ , поэтому оба эти сигнала можно представить в виде сигнала с угловой модуляцией:

$$I(t) = i_0 \cos(\omega t + \beta \sin \omega_m t + \phi), \quad (5)$$

где  $\beta = m\omega / \omega_m$  – индекс модуляции.

Во многих практических случаях вибрационной и токовой диагностики индекс модуляции небольшой  $\beta \ll 1$ . Тогда, полагая,  $\varphi = 0$ , с учетом того, что  $\cos(\beta \sin \omega_m t) \approx 1$  и  $\sin(\beta \sin \omega_m t) \approx \beta \sin \omega_m t$ , сигнал с угловой модуляцией можно представить в виде:

$$I(t) = i \left\{ \cos \omega t + \frac{1}{2} \beta \cos[(\omega - \omega_m)t + \pi] + \frac{1}{2} \beta \cos(\omega + \omega_m)t \right\}. \quad (6)$$

Сигнал вида (6), также как и амплитудно-модулированный сигнал (1), можно представить суммой составляющих с частотой  $\omega$ , с разностной частотой  $(\omega - \omega_m)$  и с суммарной частотой  $(\omega + \omega_m)$ . Различие состоит только в фазе, составляющей с разностной частотой, но в спектре отсутствует информация о фазе, поэтому для разделения видов модуляции используются специальные методы преобразования сигнала, например, их амплитудное и частотное детектирование.

При относительно больших значениях индекса модуляции  $\beta$  для сигналов с угловой модуляцией имеем

$$i(t) = I_0 \left\{ J_0(\beta) \cos \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\beta) [\cos(\omega + \omega_m n)t + (-1)^n \cos(\omega - \omega_m n)t] \right\}, \quad (7)$$

где  $J_0(\beta)$  – функция Бесселя первого рода 0-го порядка,  $J_n(\beta)$  – функция Бесселя первого рода  $n$ -го порядка.

Функцию Бесселя можно представить в виде ряда:

$$J_n(\beta) = \frac{(\beta/2)^n}{0! \Gamma(n+1)} - \frac{(\beta/2)^{n+2}}{1! \Gamma(n+2)} + \frac{(\beta/2)^{n+4}}{2! \Gamma(n+3)} - \frac{(\beta/2)^{n+6}}{3! \Gamma(n+4)} + \dots \quad (8)$$

где  $\Gamma(z)$  – гамма-функция

Спектр сигнала с угловой модуляцией может быть шире, чем спектр сигнала с амплитудной модуляцией. Эффективная ширина спектра оценивается как

$$\Delta\omega_{\text{э}} \approx 2\beta\omega_m. \quad (9)$$

Глубина амплитудной модуляции тока в двигателе с питанием от статического преобразователя напряжения  $m$  близка к 1, индекс частотной модуляции существенно меньше, однако из-за скважности импульсного напряжения модулирующие функции имеют разрывы, что приводит к большому количеству боковых гармоник в спектре тока с разными амплитудами. Несмотря на то, что гармоники тока на частоте его коммутации в двигателе составляют всего 3 % основного тока, этого достаточно, чтобы создать импульсную высокочастотную вибрацию двигателя, а также редуктора и главного вала эскалатора. На рис. 3 приведены спектры вибрации, измеренные на подшипниковых узлах двигателя, второй ступени редуктора и его выходной ступени.

Особенность распространения высокочастотной вибрации в нагруженном редукторе состоит в том, что передаются импульсы высокочастотной пульсирующей нагрузки от двигателя через шестерни и возбуждаемая ими вибрация наиболее сильно проявляется именно на опорах главного вала с частотой вращения 0,2 Гц, подшипники которого диагностируются наиболее сложно. Чтобы повысить достоверность их диагностики приходится существенно увеличивать пороги обнаружения импульсной вибрации в дефектных подшипниках.

Однако, как показали проведенные в работе исследования, есть и другие ограничения на вибродиагностику эскалатора, и прежде всего при его работе на спуск пассажиров. Таких ограничений – два. Первое ограничение состоит в том, что при большом пассажиропотоке эскалатор начинает двигаться самостоятельно, и статический преобразователь скачком, а иногда с ударом, переводит двигатель в режим торможения, в котором вибрационный «портрет» эскалатора меняется. Скачек может происходить неоднократно, удары – давать ложные тревоги в диагностике редуктора и главного вала, а смена направления нагрузки на шестерни изменять их диагностируемые поверхности. На рис. 4 приведен график зависимо-

сти мощности высокочастотной вибрации опоры главного вала от времени за три полных оборота цепей эскалатора, работающего на спуск.

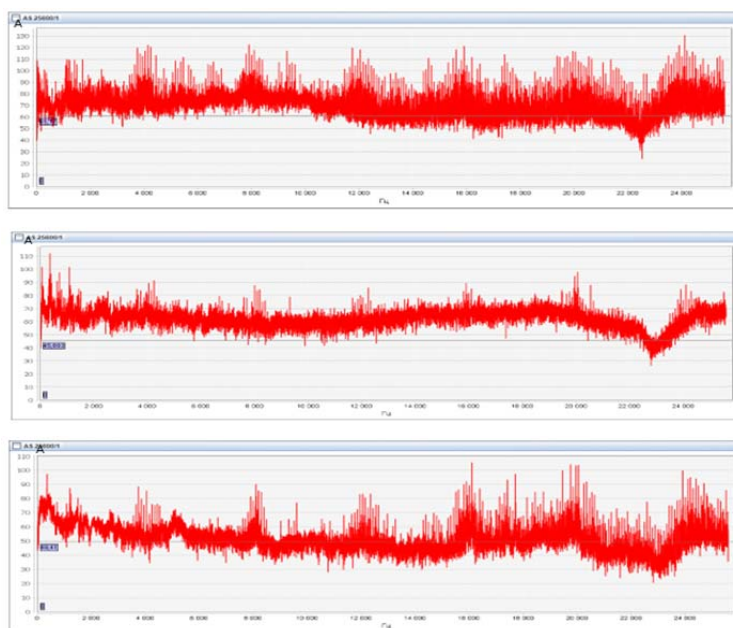


Рис. 3. Спектры виброускорения опор вращения двигателя, редуктора и главного вала до частоты 25 кГц

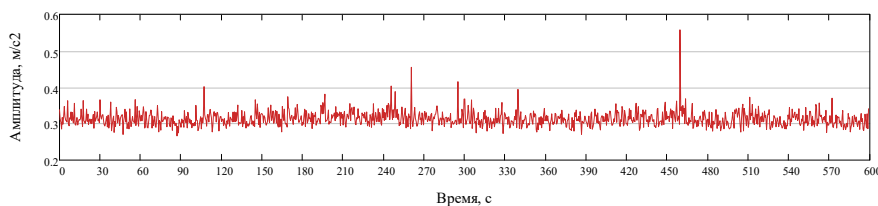


Рис. 4. Зависимость от времени мощности высокочастотной вибрации опоры главного вала за три полных оборота цепей эскалатора, работающего на спуск

Попытка обнаружить и исключить из операций диагностирования сигналы вибрации в моменты переключения направления нагрузки на редуктор по измерениям частоты вращения датчиком оборотов ротора двигателя не дала однозначных результатов, так как работает система стабилизации частоты вращения и возможные скачки частоты не выходят за рамки ее естественных флуктуаций в системе обратной связи. Не дал положительных результатов и синхронный с датчиком оборотов анализ вибрации, позволяющий обнаруживать фазовые скачки гармонической составляющей. Наилучший результат дал анализ тока двигателя. На рис. 5 приведен график зависимости величины полного тока и его составляющей на основной частоте, измеренные в нейтральной жиле силового кабеля при подключении двигателя к преобразователю «звездой».

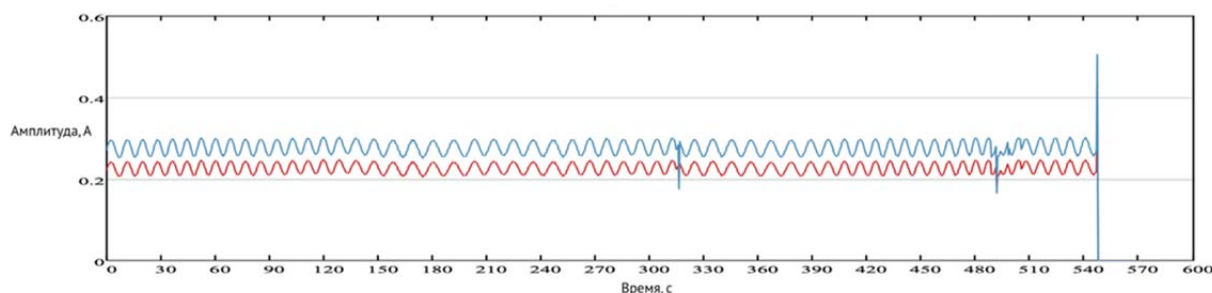


Рис. 5. Зависимость от времени сигнала полного тока электродвигателя эскалатора в нейтральной жиле силового кабеля (верхняя кривая) и его составляющей на частоте питания двигателя



Из графика видно, скачки полного тока при смене направления нагрузки на двигатель превышают естественные колебания тока при работе эскалатора. При контроле этих скачков по основной составляющей тока потребуются дополнительный анализ его фазы. Можно обнаруживать такие скачки и по измерениям фазового тока, но при этом потребуются дополнительный датчик тока и его синхронные измерения в двух фазах. Второе ограничение состоит в том, что вибрация электропривода, по крайней мере высокочастотная, при его питании от статического преобразователя зависит от нагрузки на двигатель. Причина – в широтно-импульсном регулировании выходного напряжения преобразователя, в результате которого энергия импульсов тока, а следовательно, и амплитуда возбуждаемых ими импульсов вибрации, модулирована частотой выходного напряжения. Соответственно, в спектре огибающей высокочастотной вибрации появляется ряд гармоник с частотами, кратными частоте модуляции. Поскольку фаза переднего фронта импульса тока всегда одинакова, вклад в частотную модуляцию ударных импульсов определяется задним фронтом, и он тем меньше, чем шире импульс, т. е. чем больше нагрузка на преобразователь. Если учесть, что основной вклад в удары в двигателе приходятся на моменты с максимальной амплитудой напряжения в фазе, можно ожидать минимальных импульсных наводок в спектрах огибающей вибрации под большой нагрузкой. На рис. 6 приведены подтверждающие этот вывод спектры.

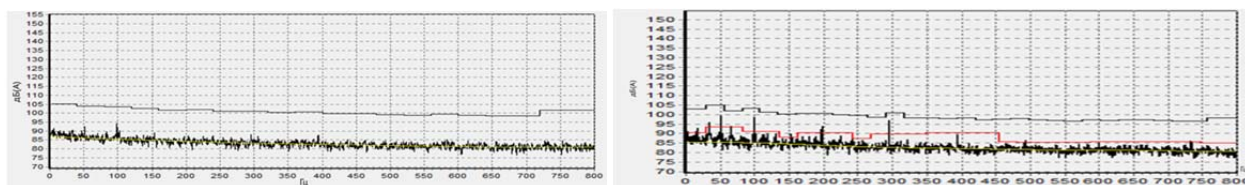


Рис. 6 Спектры огибающей высокочастотной вибрации электродвигателя эскалатора при работе на подъем и на спуск при напряжении питания с преобразователя 49,8 Гц

Для исключения влияния работы статического преобразователя на диагностику эскалатора необходимо вводить контроль режима работы по току и выполнять диагностику зарождающихся дефектов при нагрузке на эскалатор, близкой к максимальной и в режимах подъема при повышенной тяге двигателя, и в режиме спуска, с максимальной нагрузкой двигателя в режиме торможения. Режим следует контролировать по току двигателя, спектральный анализ которого косвенно может повысить достоверность диагностики главного вала по результатам контроля одиночных импульсов вибрации за счет независимой диагностики по току их возможных источников – зубчатых зацеплений. На рис. 7. приведен спектр тока двигателя эскалатора в режиме подъема эскалатора, при максимальной нагрузке на двигатель

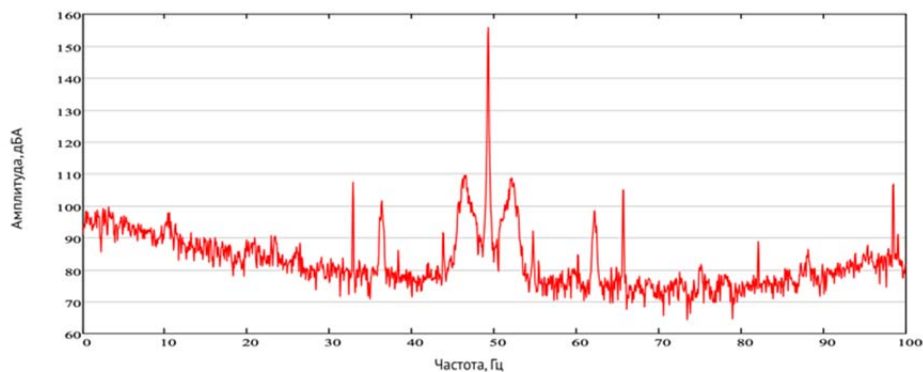


Рис. 7. Спектр тока в одной из фаз двигателя эскалатора до частоты 100 Гц

По спектру тока оценивается состояние механических передач: муфт, шестерен и цепей – по модуляции тока соответствующей частотой вращения, зубчатых зацеплений – по модуляции тока зубцовыми частотами. В приведенном спектре видна модуляция тока частотой 16,5 Гц из-за несоосности валов двигателя и редуктора, частотой 13.8 Гц из-за



погрешностей зацепления зубчатых колес и цепей, частотами, кратными 5,4 Гц. Кроме этого, наблюдается широкополосная модуляция тока  $\sim 2/3$  от зубцовой частоты (2,4 Гц) привода поручней из-за больших флуктуаций нагрузки и проскальзывания поручней эскалатора. Глубина модуляции тока любой из составляющих указанных не превышает одного процента, что означает отсутствие развитых дефектов муфты, шестерен и цепей при работе эскалатора на подъем. Это косвенно указывает на то, что источником обнаруживаемой импульсной вибрации не являются муфта или зубчатые зацепления. Их причиной может быть либо удары в подшипниках, либо удары при скачках нагрузки, и, чтобы оценить состояние подшипникового узла, надо исключить из рассмотрения моменты скачка нагрузки на двигатель и передачу.

### **Выводы**

1. Проведенный анализ показал, что статический преобразователь напряжения питания в электроприводе редукторов является источником импульсной вибрации не только двигателя, но и всех ступеней, возбуждаемой передаваемой по шестерням импульсной нагрузкой и ограничивающей вибрационную диагностику низкооборотных ступеней.

2. Доля импульсной вибрации редуктора и двигателя от работы статического преобразователя падает по мере увеличения нагрузки.

3. В процессе стабилизации скорости вращения редуктора с регулируемым приводом на примере эскалатора, работающего на спуск пассажиров, подтверждено появление импульсной вибрации при флуктуациях нагрузки, сопровождающихся сменой направления крутящего момента в двигателе.

4. Для исключения возможных ошибок в диагностике разрабатываемыми средствами вибрационного мониторинга двигателя и редуктора на ранней стадии развития дефектов необходимо вводить непрерывный контроль нагрузки по току двигателя.

5. Дополнительная диагностика низкооборотных ступеней передачи по спектру тока двигателя и стабильности его основной гармоники существенно повышает качество вибрационной диагностики зубчатых и цепных передач.

### **Список литературы**

1. Баркова Н.А. Введение в диагностику роторных машин по виброакустическим сигналам, изд. Изд. центр СПбГМТУ, г. СПб, 2003 г.

2. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации, изд. СПб Государственного морского технического университета, г. СПб, 2000г.

3. Баркова Н.А., Борисов А.А., Вибрационная диагностика машин и оборудования. Расчет основных частот вибрации узлов машин, параметров измерительной аппаратуры и практическая экспертиза. Учебное пособие. Изд. центр СПб Государственного морского технического университета, г. СПб, 2009 г.

4. Хруцкий О.В. Техническая диагностика СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2005.

5. Неразрушающий контроль: Справочник: Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – М.: Машиностроение, 2005.

6. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учебное пособие. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004 г.

7. Барков А.В. Ассоциация ВАСТ. Основные направления мониторинга состояния и диагностики машин и оборудования на транспорте. Доклад на научно-практической конференции по технологиям судостроения, судоремонта и утилизации. Северодвинск, 2009 г.

8. Barkova N.A. Bearing diagnostics of slow speed industrial rotating equipment by shock pulses / N.A. Barkova, A.V. Barkov, V.V. Fedorishchev, D.V. Grishchenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 643.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЁТА УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Нелюбин К.С., студент гр. 4АМ2К,  
 Русин А.А., аспирант гр. А2-20,  
 Ефременков Е.А., к.т.н., доцент ОмШ  
 НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
 Тел. (3822) 606-392  
 E-mail: ksn6@tpu.ru

Развитие современных механических передач вообще и передач с промежуточными телами качения (ПТК) в частности [1, 2], в современном мире невозможны без приемов автоматизации в проектировании конструкции и проведении проектировочных расчетов. Наиболее перспективной передачей с ПТК является передача с ПТКСО [3]. Двухполосная компоновка этой передачи позволяет расширить технические возможности и использование передачи с ПТКСО в современных механизмах.

В настоящее время расчет передачи с ПТКСО занимает много времени, т. к. он включает подбор исходных параметров для оптимального соотношения геометрии циклоидальных профилей, в том числе и с распределением сил в зацеплении. Исследование усилий в зацеплении передач с ПТК и передачи с ПТКСО, в частности, проводилось [3–5], но двухполосной компоновки передачи с ПТКСО не было уделено достаточного внимания. Поэтому создание алгоритма автоматизированного определения усилий циклоидального зацепления двухполосной передачи с ПТКСО является актуальным.

Рассмотрим двухполосную передачу с ПТКСО (рис. 1). На рис. 1 обозначено:  $P_1, P_3$  – полюс зацепления обоймы с кулачком и венцом соответственно;  $O_1, O_2, O_3$  – центры кулачка, обоймы с телами качения и венца соответственно;  $r_1, r_3, r_c$  – радиусы кулачка, венца, обоймы с телами качения соответственно;  $r_{21}, r_{23}$  – радиусы производящей окружности обоймы в зацеплении с кулачком и венцом соответственно;  $\beta$  – угол поворота обоймы с телами качения;  $F_i$  – усилие в зацеплении  $i$ -го тела качения с кулачком и венцом;  $h$  – кратчайшее расстояние от центра венца/кулачка до линий действий  $i$ -го усилия в зацеплении.

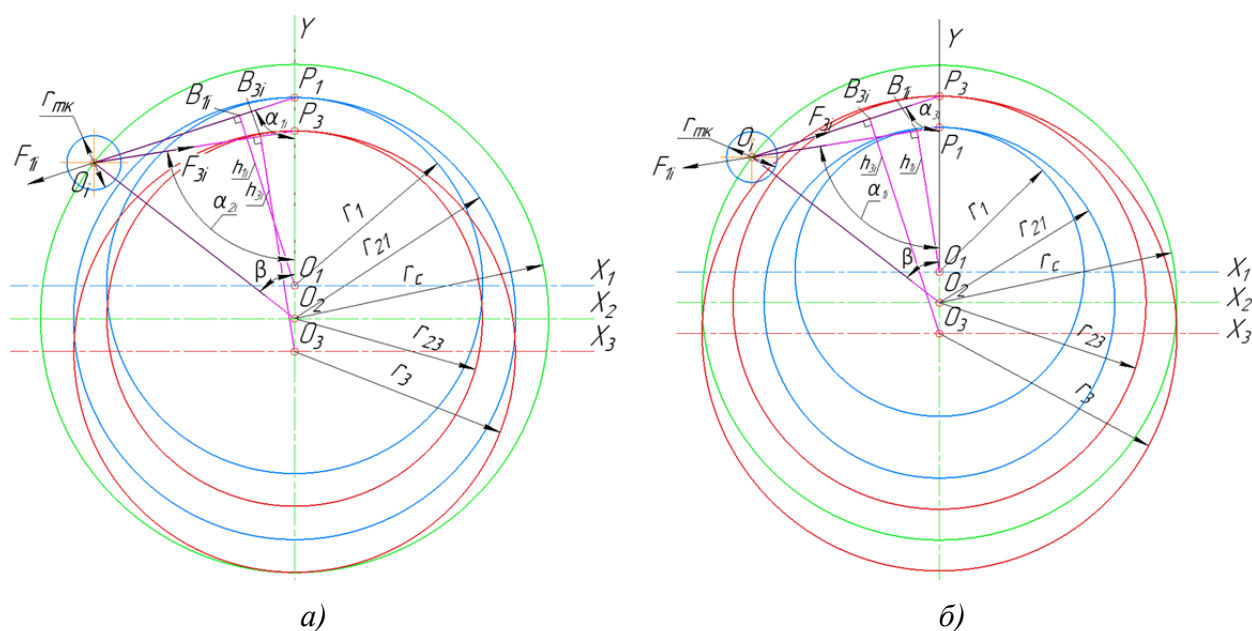


Рис. 1. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении двухполосной передачи с ПТК и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

В литературе [3] предложены выражения для определения усилий в зацеплении однополюсной передачи с ПТКСО через крутящий момент на кулачке:

$$F_{max} = \frac{T_{cam} \cdot r_1}{\sum h_i^2};$$

$$F_i = \frac{F_{max1} \cdot h_i}{r_1}.$$

Здесь  $r_1$  и  $h_i$  геометрические параметры кулачка. Эти параметры вычисляются через исходные параметры передачи [3]:

$$h_i = r_1 \cdot \sin \alpha_i;$$

$$\sin \alpha_i = \frac{\sin \varphi_{2i} \cdot r_c}{L_i};$$

$$L_i = r_2 \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \varphi_{2i}}.$$

Используя указанные выше выражения и учитывая, что радиус центров расположения тел качения  $r_c$  и число тел качения  $Z_2$  в двухполюсной передаче с ПТКСО должны оставаться постоянными [6], разработаем выражения для определения усилий в циклоидальном зацеплении двухполюсной передачи с ПТКСО. Для удобства полученные выражения сведем в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

*Формулы для определения усилий в зацеплении передачи с ПТКСО*

Расчет усилий в зацеплении тела качения с профилем кулачка	
Максимальное усилие в зацеплении	$F_{max1} = \frac{T_{cam} \cdot r_1}{\sum h_{i1}^2}$
Геометрические параметры контакта	$h_{i1} = r_1 \cdot \sin \alpha_{i1}$ $\sin \alpha_{i1} = \frac{\sin \beta_i \cdot r_c}{L_{i1}}$ $L_{i1} = r_{21} \sqrt{1 + \chi_1^2 - 2\chi_1 \cos \beta_i}$
Усилие на i-м теле качения в зацеплении	$F_{i1} = \frac{F_{max1} \cdot h_{i1}}{r_1}$
Расчет усилий в зацеплении тела качения с профилем венца	
Максимальное усилие в зацеплении	$F_{max3} = \frac{T_{cr} \cdot r_3}{\sum h_{i3}^2}$
Геометрические параметры контакта	$h_{i3} = r_3 \cdot \sin \alpha_{i3}$ $\sin \alpha_{i3} = \frac{\sin \beta_i \cdot r_c}{L_{i3}}$ $L_{i3} = r_{23} \sqrt{1 + \chi_3^2 - 2\chi_3 \cos \beta_i}$
Усилие на i-м теле качения в зацеплении	$F_{i3} = \frac{F_{max3} \cdot h_{i3}}{r_3}$

Таким образом, используя представленные выражения (табл. 1) можно разработать алгоритм (рис. 2) для расчета усилий в двухполюсной передаче с циклоидальным зацеплением передачи с ПТКСО.

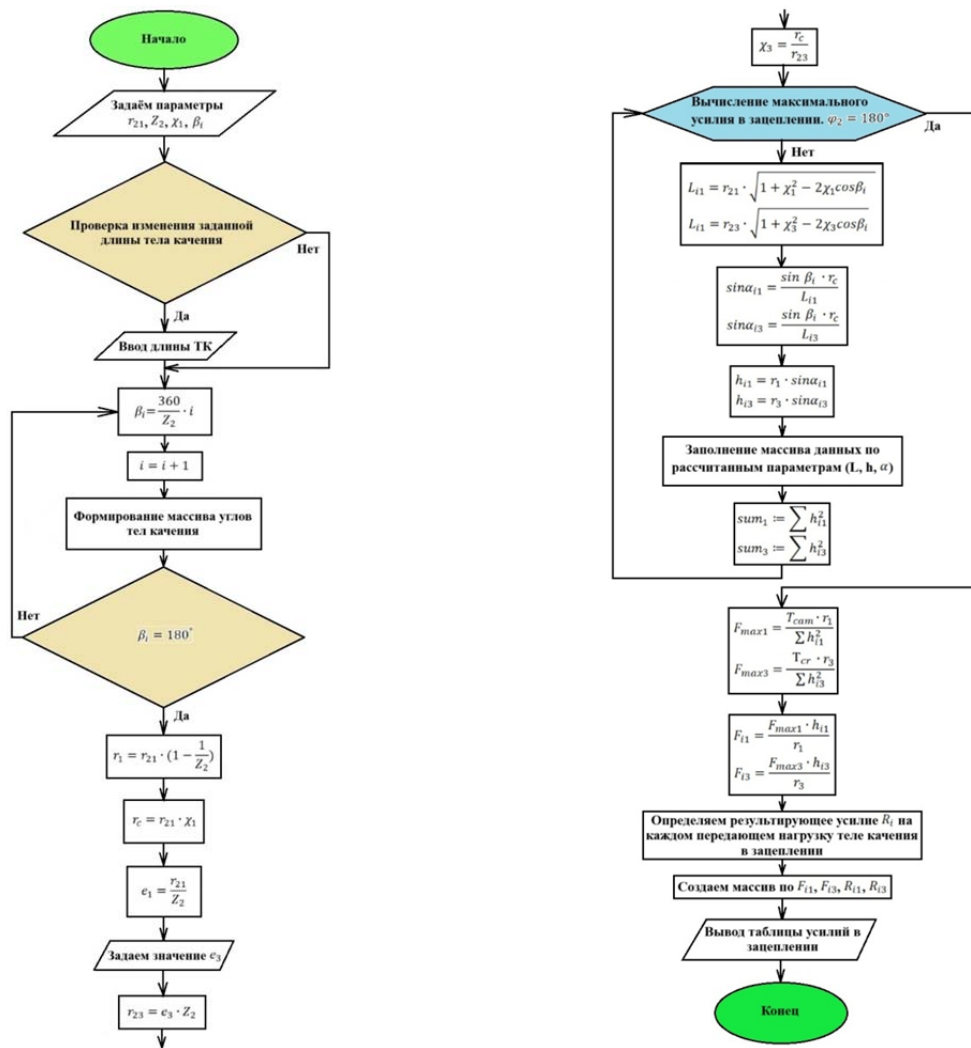


Рис. 2. Алгоритм расчета усилий в двухполюсной передаче с циклоидальным зацеплением

Согласно данному алгоритму, формируются массивы углов расположения тел качения и усилий в зацеплении передачи с ПТКСО.

Таким образом, разработан алгоритм автоматизированного определения усилий в зацеплении в зависимости от исходных и геометрических параметров циклоидальной двухполюсной передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой.

### Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. Томск: ТПУ, 1992. -231с.
2. Лустенков М.Е. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 274 с.
3. 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.
4. An I-Kan, Il'in A.S., Lazurkevich A.V. Load analysis of the planetary gear train with intermediate rollers. Part 2 // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2016, № 124. – 6 p.
5. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
6. Ефременков Е.А., Кобза Е.Е., Сорокова С.Н. Особенности проектирования двухполюсной передачи с промежуточными телами качения // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 2. – С. 59–62.

## ОЦЕНКА РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РЕАКТОРА ИРТ-Т

*Кублинский М.К.<sup>1</sup>, Смольников Н.В.<sup>2</sup>, Наймушин А.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*ТПУ, ИЯТШ, гр. А3-43,*

E-mail: mkk4@tpu.ru;

<sup>2</sup>*ТПУ, УНЦ ИЯР, Инженер-физик,*

E-mail: nvs38@tpu.ru;

<sup>3</sup>*ТПУ, ИЯТШ, Доцент ОЯТЦ,*

E-mail: agn@tpu.ru

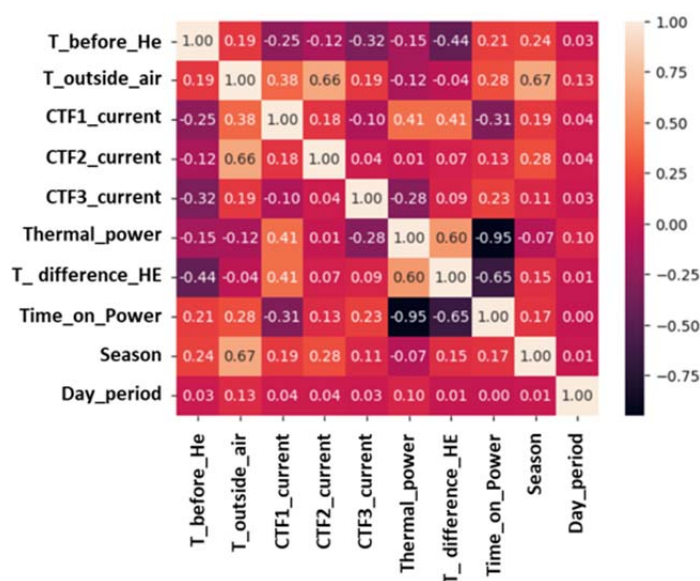
Современные производственные системы представляют собой комплекс оборудования, оснащенного датчиками различных технологических параметров, таких как температура, давление и расход. Ввиду различных эксплуатационных событий эти параметры могут меняться и, соответственно, при определенных обстоятельствах, выходить за установленные пределы безопасной эксплуатации.

Одним из параметров важных для безопасности является температура, которая напрямую определяется качественным и своевременным обслуживанием оборудования системы охлаждения. Теплообменники выступают ключевым элементов, поскольку именно в них и происходит процесс переноса тепла от теплоносителя первого контура к теплоносителю второго контура. В рамках эксплуатации, трубное пространство засоряется, что значительно уменьшает площадь теплообмена, а соответственно и эффективность работы этого оборудования.

Требуется создать утилиту, которая на основе полученных данных о технологических параметрах будет способна определять, когда теплообменник требуется вывести из эксплуатации на очистные работы. Для этого было предпринято решение о разработке модели по методу машинного обучения с учителем, которая основывалась на обработанных данных из системы Simple SCADA.

Для разработки этой модели требовалось сделать следующие уточнения. Так, было решено, что наиболее важными параметрами для анализа являются: температура перед теплообменниками, температура наружного воздуха, состояние вентиляторов градирни, температурный перепад на теплообменниках.

Для надлежащего изучения модели необходимо построить тепловую карту параметров, показанную на рис. 1, чтобы увидеть корреляцию между параметрами.



*Рис. 1. Тепловая карта технологических параметров системы охлаждения*

Например, температурный перепад увеличивается при работе вентилятор градирни с индексом CF1 и уменьшается с повышением температуры перед теплообменниками.

Идея состояла в том, чтобы разработать функцию трансформатора колонки. Предварительно обработанные данные должны быть изменены в представлении, которое легче поддается машинному обучению.

Концепция подразумевает взятия значения из набора данных и поиск среднего значения среди них, которое представлено как 0, и сопоставить отклонения от 0 в положительную или отрицательную сторону.

Так, модель легко распознает отклонение данных в двоичном режиме. Разделение временного ряда на части – простая идея. Пользователь должен выбрать деталь в качестве обучающего набора (обычно большего размера) и в качестве тестового набора. Затем начинается процесс перекрестной проверки, когда для обучения и тестирования выбираются разные фрагменты. Таким образом, модель будет изучена.

Чем больше тренировок – тем лучше результат в итоге. Использование разбивки 80 / 20 для обучения/тестирования данных приводит к сглаживанию данных и представляется оптимальным для машинного обучения.

На следующем этапе, необходимом для выбора подходящей модели, был проведен сравнительный анализ ошибок, который представлен в табл. 1.

Таблица 1

*Сравнительный анализ при выборе модели*

Модель	С трансформаторами		Без трансформаторов	
	Абсолютная погрешность, °C	Среднеквадратичное отклонение, °C	Абсолютная погрешность, °C	Среднеквадратичное отклонение, °C
KNeighbours	0,137 +/- 0,019	0,168 +/- 0,024	0,187 +/- 0,089	0,268 +/- 0,084
Multilayer perception	0,551 +/- 0,805	0,633 +/- 0,869	1,461 +/- 0,805	1,233 +/- 0,464
Gaussian processed regression	0,123 +/- 0,028	0,150 +/- 0,031	0,525 +/- 0,029	0,751 +/- 0,037
Gradient boosting regressor	0,118 +/- 0,019	0,146 +/- 0,023	0,124 +/- 0,016	0,152 +/- 0,019
Stochastic gradient regressor	0,764 +/- 0,741	0,884 +/- 0,829	Алгоритм выдал ошибку	Алгоритм выдал ошибку

Отсюда ясно видно, что Gradient Boosting Regressor показывает наименьшую ошибку 0,1 °C – идеальный результат для машинного обучения. Трансформаторы – действительно важный шаг, потому что это уменьшает отклонения. Эта модель и использовалась для анализа временных серий в работе по прогнозированию изменения площади теплообмена и засорения оборудования ИРТ-1000 на реакторе ИРТ-Т. Полученные результаты обучения модели позволили с точностью в 90 % спрогнозировать производственные события и температурные режимы, появление которых наиболее вероятно возможно в рамках стандартной эксплуатации реактора.

#### **Список использованных источников**

1. Sokhina, S.A. Machine learning. Machine learning methods / S.A. Sokhina, S.A. Nemchenko // Modern science in the conditions of modernization processes: problems, realities, prospects: Collection of scientific articles based on the materials of the V International Scientific and Practical Conference, Ufa, April 30, 2021. – Ufa: Limited Liability Company «Scientific Publishing Center «Bulletin of Science», 2021. – pp. 165–168. – EDN BKEJKF.

2. Machine Learning Model for Analyzing Learning Situations in Programming Learning / Sh. Kawaguchi, Y. Sato, H. Nakayama [et al.] // 2018 IEEE 3rd International Conference on Big Data Analysis, ICBDA 2018: 3, Shang-hai, 09–12 March 2018. – Shanghai, 2018. – P. 74 – 79. – DOI 10.1109/ICBDAA.2018.8629776. – EDN CMGSAL.

# CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR BRAIN LESION SEGMENTATION IN MRI IMAGES

*Ван Юйцянь<sup>1</sup>, Аксёнов С.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Tomsk Polytechnical University, студент гр. А3-36,*

E-mail: yuucyan1@tpu.ru;

<sup>2</sup>*Tomsk Polytechnical University, Associate Professor,*

E-mail: axyonov@tpu.ru

Brain tumours are a disease with a very high morbidity and mortality rate, accounting for 2.4 % of all human tumour morbidity. Surgery is the only way to radically cure brain cancer patients, and accurate delineation of the tumour site in the brain is a prerequisite for surgery. In this paper, based on U-Net segmentation, the brain tumour region is accurately delineated, Dice coefficients are calculated and similarity analysis is performed to guide the diagnosis and surgical intervention of doctors.

U-Net is mainly used for medical image segmentation and has been proposed mainly for cell wall segmentation and then for lung nodule detection and blood vessel extraction on retina [1]. U-Net provides end-to-end imaging and is well suited for tasks such as segmentation, reconstruction, enhancement and super-resolution of images. The structure of U-Net network mainly consists of convolutional layer, maximum pooling layer (down-sampling), anti-convolutional layer (up-sampling) and nonlinear activation function ReLU, the specific structure of the network is shown in рис. 1.

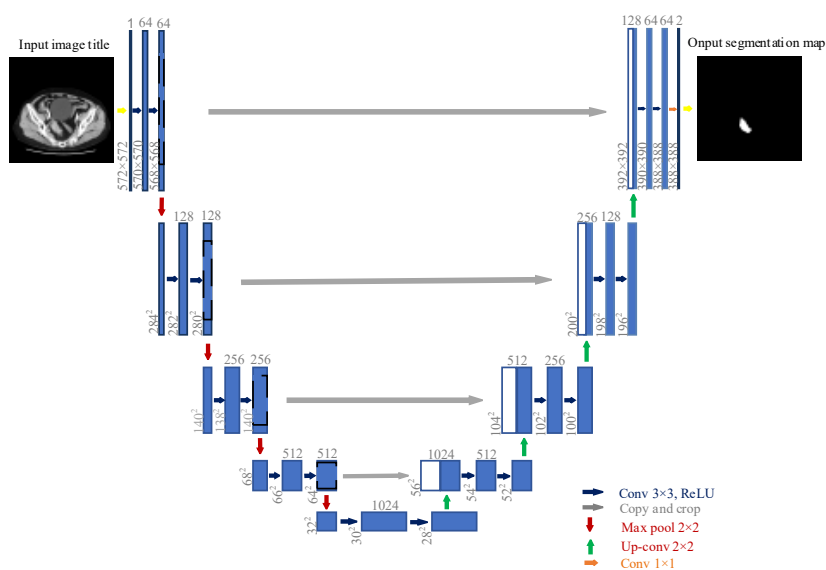


Рис. 1. Построение структуры U-Net<sup>[1]</sup>

Read the training and test files. In this study, there were 110 patient data files [2]. According to the two-eight theorem, 88 patients' data were used as training set and 22 patients' data were used as test set. MRI image mask and labelled brain tumour regions are used as training data samples for training, as shown in рис. 2. All training and test images have a uniform size of 256 × 256 and are normalized [3]. Using the control variable method, one of them was chosen to be unused or variable and iterative training was performed to obtain the Dice coefficient and analyse it.

The Dice distance is used to measure the similarity of two sets and the Dice coefficient is determined as follows:

$$Dice = \frac{A \cap B}{|A| + |B|}$$



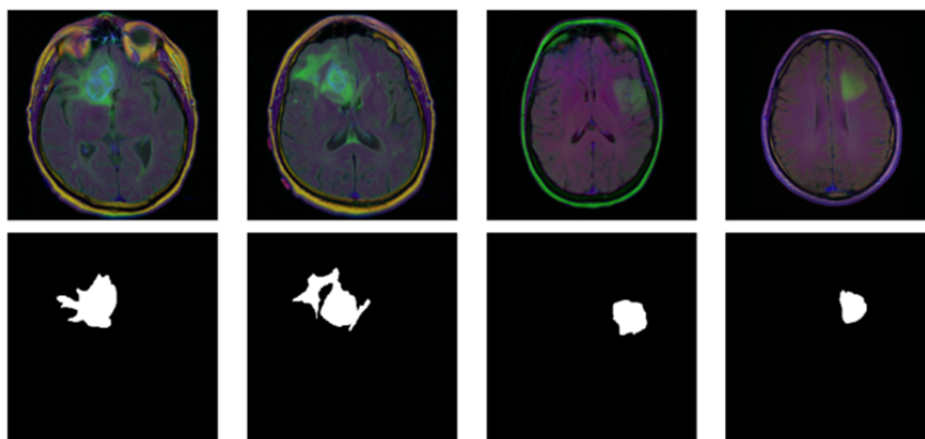


Рис. 2. Изображение и этикетка СТ<sup>[2]</sup>

Meanwhile, in order to maintain the integrity of the tumour region during training, threshold selection is performed only during testing, which gives the best results. With 130 iterations of training, the segmentation accuracy reached 89.56 %, as shown in рис. 3.

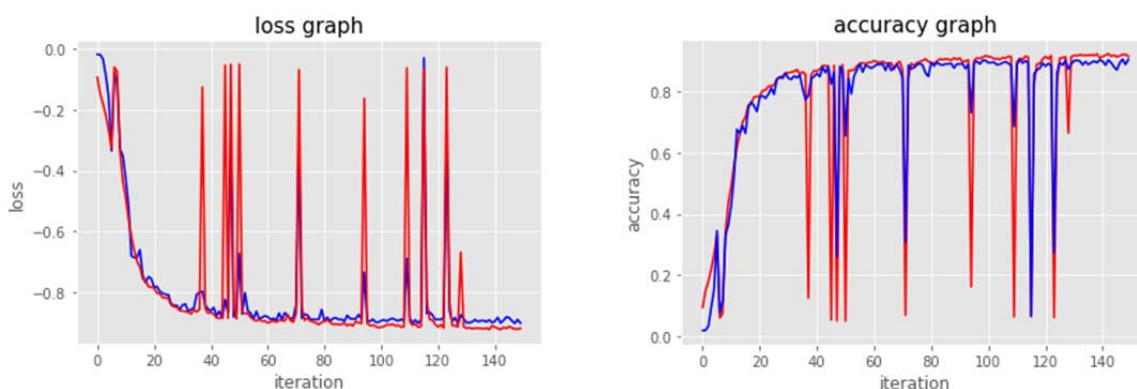


Рис. 3. During the training process, the U-Net framework is computed for training loss and accuracy graph for brain cancer dataset

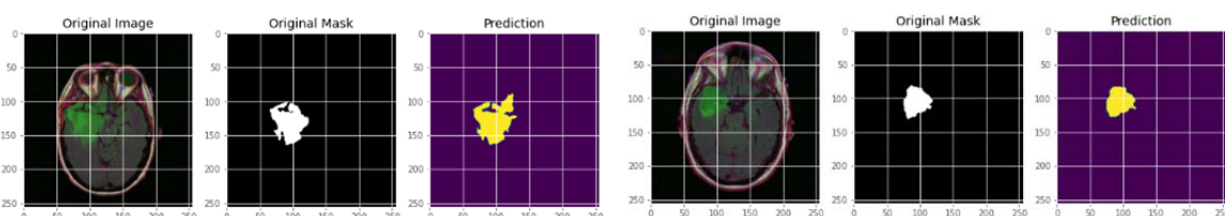


Рис. 4. Результат сегментации

In order to visualise the effect, two MRI images from the test set were randomly selected and the results are displayed in рис. 4, where the yellow part is the segmented tumour location and the purple part is the non-tumour location. From the imaging results, it can be seen that the U-Net network segments the tumour locations well, indicating that the model performs well in segmentation.

### Список литературы

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T., «U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation,» International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, 2015, pp. 234–241.
2. Brain MRI segmentation: <https://www.kaggle.com/mateuszbeda/ligg-mri-segmentation>.
3. Aksenov S.V. Identification of bronchopulmonary segment containing COVID abrasions using EG-CNN and Segnet // XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Изд-во ТПУ, 2021. – С. 96–98.

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПЛОСКОГО МАНИПУЛЯТОРА И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕЖДУ НИМИ

Воронцов Д.Н.

СПБГМУ,

E-mail: dn.voronzov@mail.ru

## Введение

Плоский пятизвенный манипулятор параллельной структуры, несмотря на ряд потенциальных преимуществ [1-2] (таких как увеличение параллельной нагрузки и т. д.) имеет существенный недостаток, выраженный в сложности реализации управляющих алгоритмов выраженных в наличии точек сингулярности и необходимости их обхода [3] с целью недопущения неопределённостей дальнейшего движения при их пересечении. Причём данный принцип работы необходимо реализовывать не только в начальной и конечной точке системы, но и на всём протяжении траектории движения объекта.

## Постановка задачи

В предыдущей работе автора [4] была показана принципиальная возможность достижения положений рабочих точек в пределах допустимого диапазона значений на плоскости. Далее возникает вопрос о возможности перемежения между точками без пересечения зоны сингулярности по наиболее оптимальной траектории. Достигается данный результат за счет последовательного решения следующих задач: распознавание текущего положения звеньев относительно начальной рабочей точки в совокупности допустимых положений в конечной точке, мониторинг пересечений зоны сингулярности на траектории пересечения и, при необходимости, установки дополнительных маршрутных точек.

## Позиционирование рабочей точки относительно плеч манипулятора

Обязательным требованием к системе является отсутствие перегиба в точке  $C$  (рис. 1). Следовательно, если разделить рабочее пространство вектором  $\overline{AB}$  на правую и левую часть, то точка  $C$  должна всегда находиться в левой полуплоскости, разграниченной вектором. Подобное правило должно соблюдаться на всей траектории движения между двумя точками.

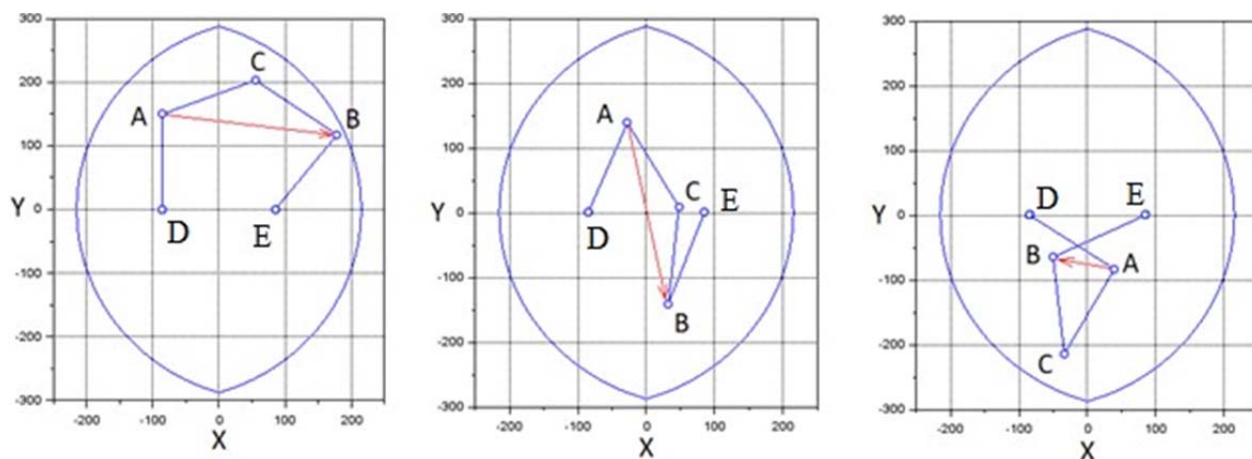


Рис. 1. Позиционирование точки  $C$  относительно вектора  $\overline{AB}$

Исходя из описанного выше положения, при перемещении из начальной точки  $C_0$  в конечную  $C_1$  необходимо учесть следующие факторы:

1. Конфигурация точки  $C_0$ , зафиксирована однозначно (исходя из предыстории операций).
2. Проанализировать возможные варианты конфигураций в конечной точке на физическую реализуемость без пересечения положения сингулярности.

3. Выявить оптимальную траекторию движения для обеих поворотных осей между исходной и допустимыми конечными конфигурациями выбрав наименьшие из углов поворота между конечными звеньями.

4. Предусмотреть возможность обхода точек сингулярности при перемещении.

### Выбор допустимых конфигураций из перечня возможных

Для одной точки  $C$  в отдельно взятый момент времени, безотносительно предыстории её перемещения можно свободно задать любую из четырёх конфигураций пары поворотных звеньев. Однако, если считать, что стандартным положением для точки  $C$  относительно  $\overrightarrow{AB}$  является расположение в левой полуплоскости, то критерий, отображающий соблюдение этого положения, можно аналитически сформулировать при помощи векторного умножения векторов  $\overrightarrow{AB}$  и  $\overrightarrow{AC}$ .

Векторное произведение векторов даёт в результате вектор совпадающий с осью  $Z$ , ортогональный к плоскости  $X-Y$ , образованной этими векторами. Его направление зависит от относительного расположения  $\overrightarrow{AB}$  и  $\overrightarrow{AC}$  – если  $\overrightarrow{AC}$  находится слева от  $\overrightarrow{AB}$  (что эквивалентно вращению против часовой оси), то результирующий вектор будет иметь положительный знак, иначе – отрицательный.

Математический критерий будет иметь следующий вид:

$$\overrightarrow{AB} \text{ и } \overrightarrow{AC} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_b & y_b & 0 \\ x_c & y_c & 0 \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$\det(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}) = iy_b 0 + jx_c + kx_b y_c - kx_c y_b - jy_c 0 - jx_b 0 = k(x_b y_c - x_c y_b). \quad (2)$$

Т. е. необходимо взять определитель от матрицы третьего порядка, считая, что вектора  $\overrightarrow{AB}$  и  $\overrightarrow{AC}$  лежат на плоскости, и их третья координата равняется нулю. Тогда конечное условие допустимости конфигурации запишется как:

$$x_b y_c - x_c y_b > 0. \quad (3)$$

На рис. 2 рассмотрен пример с точкой в положительной полуплоскости, для неё возможны 3 конфигурации их четырёх – конфигурация  $\alpha_2 \beta_1$  при сохранении правила недопустимости изменения стороны относительно вектора  $\overrightarrow{AB}$ , отразит точку  $C$  зеркально по оси вектора от своего истинного значения, путём последовательного применения правила (3) можно составить, своего рода, таблицу истинности, которая будет применяться в дальнейшем:

Таблица 1

Конфиг.	Доп. реализ.	Минимальное время перехода	Итоговый набор данных по смещению для $\theta_{min}$
$\alpha_1 \beta_1$	True	$\theta_1 = \max(A_0 DA_1, B_0 EB_1)$	$\angle A_0 DA_n, \angle B_0 EB_m;$ $sign(\overrightarrow{DA_0} \cdot \overrightarrow{DA_n});$ $sign(\overrightarrow{EB_0} \cdot \overrightarrow{EB_m})$
$\alpha_1 \beta_2$	True	$\theta_2 = \max(A_0 DA_1, B_0 EB_2)$	
$\alpha_2 \beta_1$	False	–	
$\alpha_2 \beta_2$	True	$\theta_3 = \max(A_0 DA_2, B_0 EB_2)$	

Примечание. Пояснения к столбцам 3–4 будут даны ниже.

### Переход между рабочими точками

Пусть манипулятор находится в точке  $C_0$ , с конфигурацией поворотных звеньев  $\alpha_0 \beta_0$ . Основываясь на данных табл. 1 становится очевидно, какие пары перемещений  $\alpha_0 \beta_0 \rightarrow \alpha_n \beta_m$  пригодны для дальнейшего рассмотрения.

Значащий параметров для каждого из поворотных звеньев существует два – направление вращения и угол, заключённый между двумя положениями звеньев. Направление

вычисляется они аналогично (1–2), т. е. рассматривается векторное произведение векторов  $\overrightarrow{DA_0}$  и  $\overrightarrow{DA_n}$  ( $\overrightarrow{EB_0}$  и  $\overrightarrow{EB_m}$ ), как результат:

$$\text{sign}(\overrightarrow{DA_0} \cdot \overrightarrow{DA_n}) = x_0 y_n - x_n y_0, \quad (4)$$

где  $\overrightarrow{DA_0} = [x_0 y_0]$ ,  $\overrightarrow{DA_n} = [x_n y_n]$

Целочисленное значение  $\angle A_0 D A_n$  запишется как арккосинус отношения векторного произведения к произведению модулей векторов:

$$\angle A_0 D A_n = \arccos\left(\frac{\overrightarrow{DA_0} \cdot \overrightarrow{DA_n}}{|\overrightarrow{DA_0}| \cdot |\overrightarrow{DA_n}|}\right). \quad (5)$$

Отношения (4–5) справедливы и для пары  $\overrightarrow{EB_0}$  и  $\overrightarrow{EB_m}$ .

Чтобы минимизировать время, затраченное на перемещение, необходимо выбрать такую пару углов, чтобы наибольший из них был меньше, чем наибольшие углы из всех оставшихся пар, что отражено в столбцах 3–4 табл. 1. В последней графе вектора и углы, указанные с неопределёнными индексами  $n$  и  $m$ , принимают значение по модулю и сигнатуре для углов, возвращённых в качестве ответа функцией  $\min(\dots)$ . Конфигурация  $\alpha_2 \beta_1$  не используется для дальнейших расчётов, поскольку в самом начале не выполнилось условие для реализации.

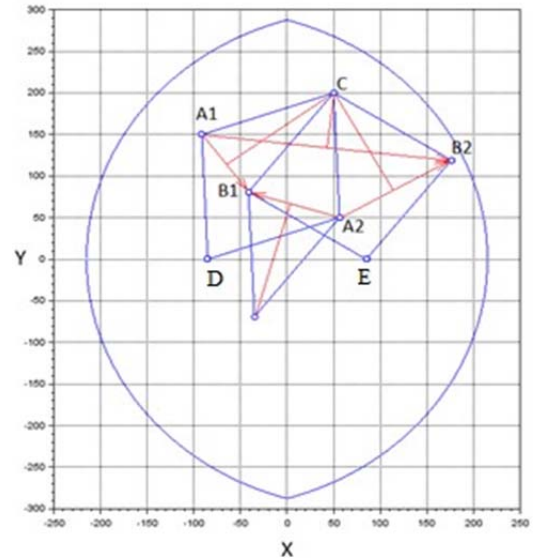


Рис. 2. Допустимые конфигурации манипулятора

### Критерии обнаружения точек сингулярности и заклинивания звеньев

Несмотря на то, что начальная и конечная точки достижимы, в процессе передвижения между ними возможны пересечения точек сингулярности. Кроме того, при физической реализации применяется конструкция звеньев, изображённая на рис. 3 при которой поворотные звенья AD и BE находятся на одном уровне и их пересечения недопустимы.

Если считать, что исполнительные устройства для поворотных звеньев представлены шаговыми двигателями то программный алгоритм перемещения между двумя позициями будет обладать следующими особенностями:

1. Углы поворота пересчитываются в количество шагов с округлением вниз до целого числа – нивелировать потерю точности становится возможным при помощи установления микрошагового режима работы шагового двигателя.

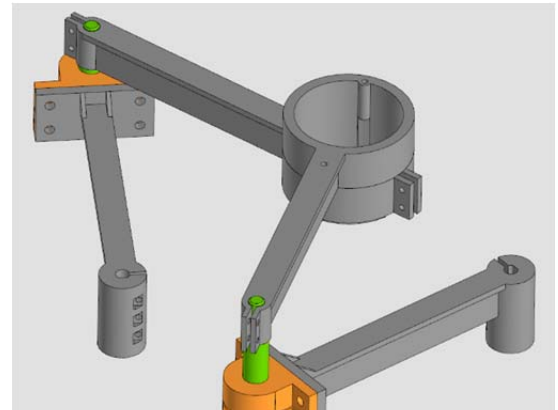


Рис. 3. Модель параллельного манипулятора

$$N_{\angle A_0 D A_n} = \text{floor}\left(\frac{\angle A_0 D A_n}{d}\right); \quad (6)$$

$$N_{\angle B_0 E B_m} = \text{floor}\left(\frac{\angle B_0 E B_m}{d}\right),$$

где  $d$  – длина шага двигателя, «*floor*» – программная команда на языках Scilab и Matlab для округления вниз.

2. Чтобы избежать пересечения точки сингулярности вводится критерий нарушения геометрии, при котором недопустима ситуация, когда

$$AB > (2 * l - x), \quad (7)$$

где  $x$  – конструктивно выбранный запас по максимальной длине AB.

3. Для избежания заклинивания звеньев необходимо, чтобы расстояние от точек А и В до противоположных звеньев было не меньше значения, отражающего фактическую ширину звена взятую с конструктивным запасом. Наблюдая положение точек А и В минимальная дистанция ВН относительно точки В и звена AD между звеньями запишется следующим образом:

$$\angle DAB = \arccos\left(\frac{AB^2 + AD^2 - BD^2}{2 \cdot AB \cdot AD}\right) \quad (8)$$
$$BH = AB \cdot \sin(\angle DAB)$$

4. Описанные выше условия проверяются при подаче управляющей команды на перемещение рабочего органа, но перед началом движения, если нарушение условий обнаружено, то возникает необходимость в установке промежуточной точки, позволяющей обойти запрещённые области. Способ выбора подобной точки зависит от начальных условий и конфигурации и представляет собой отдельную тему для рассмотрения.

### **Заключение**

В результате проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Сформулирован алгоритм позиционирования рабочей точки манипулятора, позволяющий свободно перемещаться между различными конфигурациями.
2. Сформулирован алгоритм расчёта наименьшего пути для перемещения между точками рабочей области.
3. Сформулированы критерии обнаружения точек заклинивания звеньев и входа в состояние сингулярности.

### **Список литературы**

1. Воробьева Н.С. Синтез программных перемещений и алгоритмов систем управления реконфигурируемых манипуляторов параллельно-последовательной структуры: дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 2.5.4 – Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, 2022 – 473 с.
2. Ганиев, Р.Ф. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и их приложения в современной технике / Р.Ф. Ганиев, В.А. Глазунов // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 459, № 4. – С. 428.
3. Эрастова К.Г. Оптимизация геометрических параметров механизмов параллельной структуры методом SQP из условия максимизации эффективной рабочей зоны на примере пятизвенного манипулятора / К.Г. Эрастова, П.А. Ларюшкин // Машиноведение и инновации. Конференция молодых учёных и студентов (МИКМУС-2017): материалы конференции, Москва, 06–08 декабря 2017 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2018. – С. 356–359.
4. Жиленков А.А., Аналитическое определение границ движения рабочей точки пятизвенного плоского манипулятора / А.А. Жиленков, Д.Н. Воронцов, Р.В. Джеммер // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 296–301.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НАПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ БАЗ ДАННЫХ С ORM ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Морев Д.А., магистрант гр. 4АМ2Ф, НИ ТПУ

Шанин С.А., к.ф.-м.н., доцент ОМШ НИ ТПУ

E-mail: dam40@tpu.ru

На текущий момент времени в области машиностроения присутствует множество справочной литературы, используемой при расчётах различного рода механизмов, а также проектировании технологических процессов. Большая часть этой информации находится на страницах справочников в бумажном или оцифрованном исполнении, без возможности их обработки программным путем, что является крупным упущением.

При необходимости узнать какой-либо параметр, нужно подобрать актуальный справочник, найти необходимую информацию, после чего применить полученные данные. Этот метод обработки информации сильно увеличивает трудоемкость проектирования. На процесс подбора параметров также может повлиять человеческий фактор и, как итог, возможность возникновения ошибки при эксплуатации или тестирования оборудования.

При автоматизации упомянутых процессов влияние человеческого фактора сильно сокращается, а удобство подбора необходимой информации возрастает, т. к. требуется контролировать лишь исходные данные, а подбор и расчёт всех необходимых параметров производится автоматически.

Сейчас на Российском рынке представлен, как минимум, один продукт от компании «Аскон», развивающийся в данном направлении – система автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль», а также дополнительные расчётные модули: модули расчёта режимов резания (рис. 1) и режимов сварки, модуль нормирования материалов и трудозатрат. Расчёты в этих продуктах представляют собой возможность выбора справочных материалов [1–3] из подключенных баз данных в ручном режиме.

Автоматизация данных программ является не полноценной, так как отсутствует взаимосвязь между приложениями. Рассмотрим алгоритм расчёта режимов резания: для получения необходимого результата нужно открыть специальный модуль, вручную ввести необходимые данные, и после получения итоговых данных перенести их в основной модуль построения технологического процесса.

Параметр	Значение
Вид обработки	Токарная обработка
Блок расчёта	Обтачивание
Диаметр обрабатываемой поверхности	125
Длина обработки	350
Подвод, врезание, перебег	2
Макс. диаметр заготовки (для определения ж...	130
Макс. длина заготовки (для определения ж...	375
Припуск	2,5
Глубина резания	1,25
Количество проходов	2
Частотная обработка	<input type="checkbox"/>
Точность	
Шероховатость	0 Ra
Термообработка	<input type="checkbox"/>
НРС	0
НВ	229
Sigma	800
Превышение точности	Нет
Использование СОЖ	Нет
Постоянная скорость резания	Нет
Состояние обрабатываемой поверхности	Без корки
Жесткость системы	Нормальная
Операция	Токарная
Материал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Станок	16K20
Режущий инструмент	Резец 2101-0551 P6M5 ГОСТ 18870-73
Режущая часть	
Вспомогательный инструмент	
Подача, мм/об	0,8
Скорость резания, м/мин	24,7
Число оборотов шпинделя, об/мин	63
Сила резания, Н	2072,45
Мощность резания, кВт	0,82
Основное время, мин	13,968
D или B	125
Длина	352
Минутная подача, мм/мин	50,4
Стойкость, мин	30
Вспомогательное время	0

Рис. 1. Окно расчётного модуля режимов резания



Весь процесс построен на постоянном взаимодействии пользователя с программой. Это не значительно снижает возможность возникновения ошибки из-за человеческого фактора, а раздробленность модулей увеличивает время, затрачиваемое на расчёты.

Представленный расчётный модуль, является частью приложения для стационарного компьютера, но есть возможность реализовать весь функционал в WEB среде, это избавит пользователя от необходимости установки программных пакетов для дальнейшей работы, все необходимые расчёты выполняемы на любом устройстве с доступом к сети интернет, а программная составляющая храниться на сервере.

Частично это реализовано на некоторых интернет-ресурсах. Рассмотрим калькуляторы режимов резания [4], представленные в различных исполнениях, например, как показано на рис. 2.

Можно заметить, что здесь не рассматриваются параметры обрабатывающего и обрабатываемого материалов, а также иные уточняющие параметры, которые можно хранить в базе данных, а исходные данные заносятся вручную.

Таким образом, в связи с отсутствием полноценных автоматизированных проектов, по подбору параметров при составлении технологического процесса, а также общим трендом по цифровизации данных, в частности в области машиностроения, рассматриваемая тема является актуальной.

Рассмотрим расчёт скорости резания, представленного в справочнике [5], скорость определяется по формуле:

$$v = v_{\text{тб}} \cdot K_v \quad (1)$$

где  $v_{\text{тб}}$  – табличная скорость резания, м/мин;  $K_v$  – поправочный коэффициент.

Табличное значение скорости определяется так же по справочной формуле [5] с учетом различных коэффициентов:

$$v_{\text{тб}} = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot s^y}} \quad (2)$$

где  $C_v$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – коэффициенты, зависящие от вида обработки и режущего материала;  $T$  – стойкость инструмента, мин;  $t$  – подача, мм/об;  $s$  – глубина резания, мм;

Эти уравнения используют множество табличных данных, представляющих условия обработки. Поскольку данные определены и известны [5], их можно хранить в базе данных проекта, а расчетные формулы запрограммировать в логической части, и предоставить пользователю лишь небольшой выбор таких параметров, как например, диаметр детали, требуемая шероховатость, глубина резания и материалы, которые в свою очередь тоже являются данными из базы.

Весь алгоритм расчёта скорости резания можно представить блок-схемой (рис. 3).

На основании результата, получаемого после вычислений, проводимых по стандартным формулам для расчёта скорости резания, не составит труда расширять функционал программной логики, например, ввести автоматизированную аналитику результатов, проводить другие вычисления в этой же среде опираясь на полученные результаты, что делает предложенное решение более целостным и логически правильным.

Рис. 2. Калькулятор режимов резания



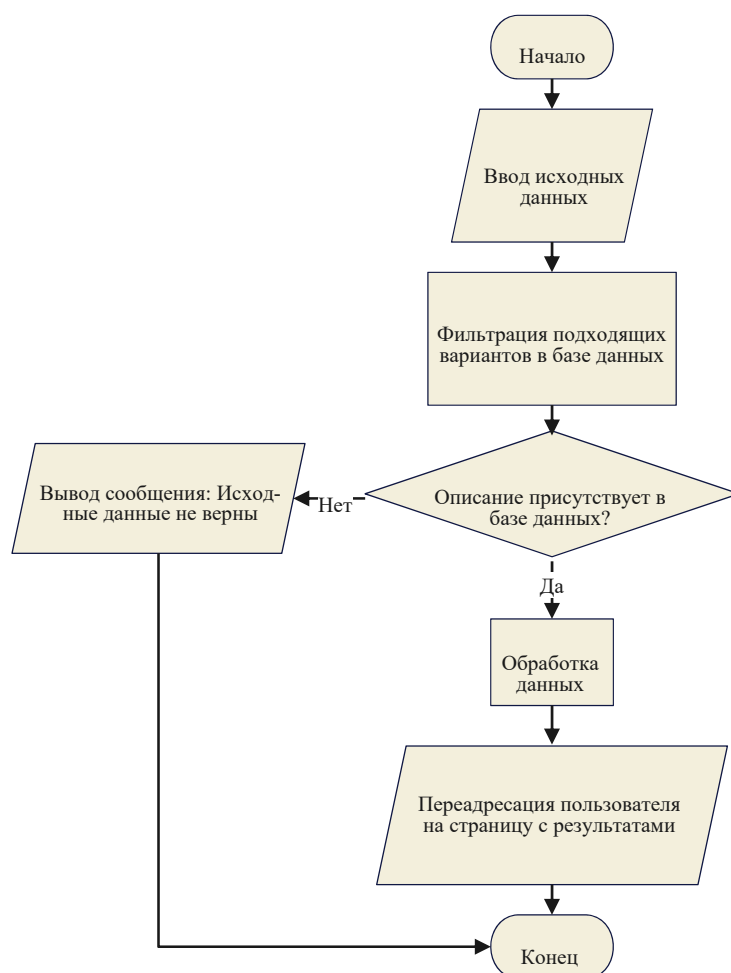


Рис. 3. Блок-схема программной логики

Таким образом, предложенная новая логика для оптимизации подбора и расчётов параметров технологических процессов, что значительно упростит любой процесс проектирования и лишит его влияния человеческого фактора на результат, а реализация подобного рода программы в виде интернет-ресурса сделает его легкодоступным для конечного пользователя.

### 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. Кащук В.А., Верещагин А.Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.: ил.
4. URL: <http://tekhnar.ru/chpu/calc.html>
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, – 4-е изд., перераб. и доп., – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.

# ЛАЗЕРНЫЙ СТАНОК РАСКРОЯ МЕТАЛЛА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ

*Насыбуллин Ф.Ф., Хисамутдинов Р.М.*

*Набережночелнинский филиал КФУ, группа 1211804*

E-mail: Fail-nf@mail.ru;

*Набережночелнинский филиал КФУ, автомобильное отделение, д.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой конструкторско-технологического  
обеспечения машиностроительных производств,*

E-mail: sunniwind43@gmail.com

## **Аннотация**

В статье приведен анализ имеющихся лазерных станков раскроя металла, описаны их достоинства и недостатки. Рассмотрены возможности дальнейшего улучшения процессов раскроя листового металла за счет внедрения в лазерные станки автоматической системы интеллектуальной поддержки оптимальных параметров мощности резания.

**Ключевые слова:** лазерный станок, оптимальные параметры резания, толщина резания, термическое влияние, микротвердость, интеллектуальная поддержка.

## **Введение**

С появлением лазерных станков значительно упростилось трудоемкость раскроя листового металла, повысилась производительность и качество выпускаемой продукции. В настоящее время существует множество лазерных станков в различных отраслях промышленности, в том числе и в машиностроении. Производители постоянно стремятся улучшить процесс резки металла, оборудование совершенствуется и переходит в разряд высокотехнологического. Однако, при резке заготовок разной толщины требуется разная мощность и скорость резания, выставляемая вручную оператором станка. От этого зависит качество результата листового раскроя: ширина и глубина реза качество формируемых кромок [1], а также ресурс работы станка. Стоит отметить, что из-за неправильной или ошибочной настройки режимов резания будет иметься зона термического влияния, что приводит к образованию микротрещин в деталях после гибочных и иных заготовительных операциях, приводящих к преждевременному разрушению при эксплуатации. Внедрение системы интеллектуальной поддержки определения оптимальных параметров мощности резания на лазерных станках является актуальной технологической задачей, позволяющей увеличить срок службы оборудования и изготавливаемых деталей.

## **Актуальность, научная значимость вопроса с кратким обзором литературы**

В настоящее время на рынке представлено большое количество лазерных станков по резке металла, отличающихся по своим конструктивным и функциональным возможностям. В основном лазерные станки представлены зарубежными изготовителями такими как Тайвань, США, Японии и страны Европы. Конструкции этих станков оснащены автоматической разгрузкой после процесса резки, имеет технологию очистки воздуха и препятствует сильному загрязнению окружающей среды, а также наделены механизмами, предотвращающие «дрожание» заготовок во время процесса резания.

Недостатками этих лазерных станков является ручная настройка параметров резания.

**Целью настоящей работы** является разработка и внедрение системы интеллектуальной поддержки оптимальных параметров мощности резания, обеспечивающей минимизацию термического влияния на кромку деталей, увеличение ресурса работы станка и уменьшение образования микротрещин в деталях после гибочных и иных заготовительных операциях.

## Теоретическая часть, практическая значимость, предложения, результаты внедрений, результаты экспериментальных исследований

В лазерных станках параметры работы мощности и скорости резания выставляются вручную на основе эмпирических значений. Данные параметры зависят от характеристик материала и толщины резания. При малой мощности реза лазерного станка возможна «недорезка» заготовки, ведущая к браку готовых изделий, а при большой мощности происходит увеличение зоны термического влияния на кромку детали, приводящий к изменению ее структуры. Кромка детали становится твердой и хрупкой, образуются микротрещины при операциях сгиба, следовательно, снижается срок службы эксплуатации готовых изделий. Также большая мощность резания станка ведет к большому потреблению ресурсов резания.

Исследованиями установлено, что высокие значения микротвердости характерны для области близкой к поверхности реза. При резке происходит высокоскоростной нагрев и охлаждение металла в поверхностных слоях реза, вследствие чего формируется зона газолазерного термического влияния [2]. Это приводит к тому, что на кромках лазерного реза возникают внутренние напряжения и микротрещины, приводящие в итоге к разрушению деталей при последующей эксплуатации.

Предложено техническое решение, заключающееся в том, что лазерный станок оснащается системой интеллектуальной поддержки определения параметров мощности резания. Данный способ возможно внедрить через электронный блок управления станка, при этом, перед резкой листа считываться его толщина с помощью цифрового толщиномера.

Принцип работы лазерного станка раскроя металла:

Перед процессом резки, лазерный дальномер, установленный на обратной стороне корпуса режущей головки, считывает и передает показание значения толщины листа в электронный блок управления (ЭБУ) станка. Измерение толщины металлического листа может производиться в нескольких контрольных точках поверхности листа с помощью перемещения корпуса режущей головки в продольных и поперечных направлениях. Определение толщины металлического листа  $L_t$  определяется, как разница расстояния от лазерного измерителя длины до паллеты  $L$ , принятого за константу, и расстояния от лазерного дальномера до поверхности металлического листа  $\Delta L$ :

$$L_t = L - \Delta L \quad (1)$$

Показания значения толщины металлического листа передаются ЭБУ станка. Далее при помощи интеллектуальной поддержки происходит наладка оптимальных режимов резания: в автоматическом режиме выставляются параметры мощности и скорости реза.

Алгоритм работы лазерного станка с системой интеллектуальной поддержкой определения параметров резания представлен на рис. 1.

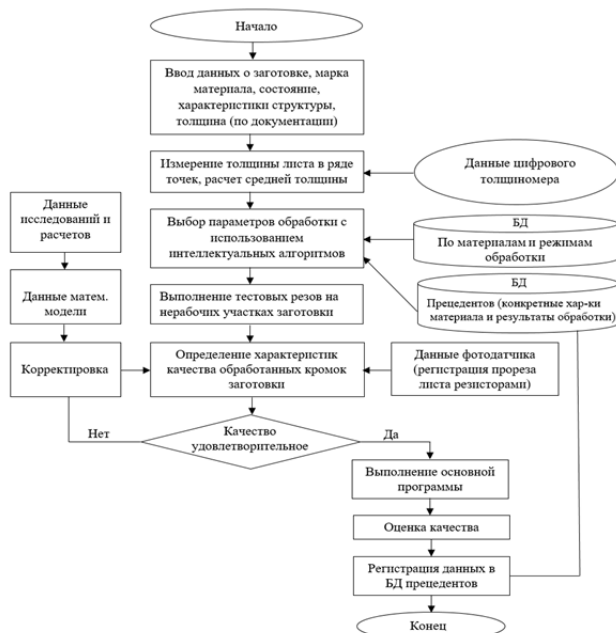


Рис. 1. Алгоритм работы лазерного станка с системой интеллектуальной поддержкой определения параметров резания

Для автоматического определения прорезки листового металла, конструкцию станка возможно оснастить фотодатчиком. Факт прорезывания металлического листа фиксируется резисторами фотодатчика и передаются ЭБУ станка. В случае не прореза заготовки, увеличение мощности резания осуществляется автоматически при помощи ЭБУ станка.

### **Заключение**

Таким образом, современные лазерные станки раскроя металла возможно оснастить системой интеллектуальной поддержкой оптимальных параметров резания. Результатом внедрения системы является снижение человеческого фактора при настройках параметров резания, уменьшение времени простоя, увеличение ресурса работы станка и увеличение качества изделий, за счёт уменьшения образования микротрещин в деталях после гибочных и иных заготовительных операциях.

### **Список литературы**

1. Оптимизация режимов лазерной резки с целью уменьшения зоны термического влияния. Левашова Е.Л., Яковицкая М.В. В книге: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. 2017. – С. 241–243.
2. Особенности строения зоны газолазерного термического влияния конструкционных легированных сталей марок 09Г2с и 20Х13. Минаев И.В., Гвоздев А.Е., Кутепов С.Н., Клементьев Д.С., Калинин А.А. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 10. – С. 499–506.

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ СУЛЬФАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ

Пархоменко Э.А.<sup>1</sup>, студент гр. 0791 ОЯТЦ,  
Губа Э.А.<sup>1</sup>, студент гр. 0401 ОЯТЦ,  
Прокопьева О.В.<sup>1</sup>, студент гр. 0412 ОЯТЦ,  
Заринова А.С.<sup>1</sup>, студент гр. 0412 ОЯТЦ,  
Солодов Е.В.<sup>1</sup>, студент гр. 0401 ОЯТЦ,  
<sup>1</sup>НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: eag40@tpu.ru

На сегодняшний день около 100 тысяч тонн отходов в качестве фторангидрита выбрасываются в окружающую среду в результате производства фторводорода. В то же время, АО СХК, после процедуры нейтрализации фторангидрита, сбрасывает более 15 тысяч тонн отходов в реку Томь ежегодно.

В химической промышленности фтороводород получают из плавикового шпата, содержащего флюорит – фторид кальция, посредством разложения его серной кислотой в специальной барабанной вращающейся печи с перемешивающим устройством. Этот процесс образует техногенный ангидрит, по-другому безводный сульфат кальция, который сбрасывают через систему канализации в речку Ромашка, а затем в р. Томь.

В любой производственной сфере требуется стабильность свойств исходного материала. Однако фторангидрит, получаемый из вращающейся печи, имеет переменный гранулометрический состав и различную концентрацию серной кислоты. Чтобы использовать его в строительстве, необходимо нейтрализовать избыток кислоты оксидом кальция до определенного уровня pH (от 7 до 10). Если присутствует избыток серной кислоты ( $\text{pH} \leq 7$ ), то снижается прочность строительных материалов, а если избыток извести ( $\text{pH} \geq 10$ ), то разбавляются вяжущие свойства материала.

Предлагаемый способ основан на определении электротехнических свойств фторангидритовых таблеток одинаковых размеров, полученных при одинаковом давлении как критерий оценки кислотности извлеченного фторангидрита из печи.

На рис. 1 отображена схема установки для реализации данного способа:

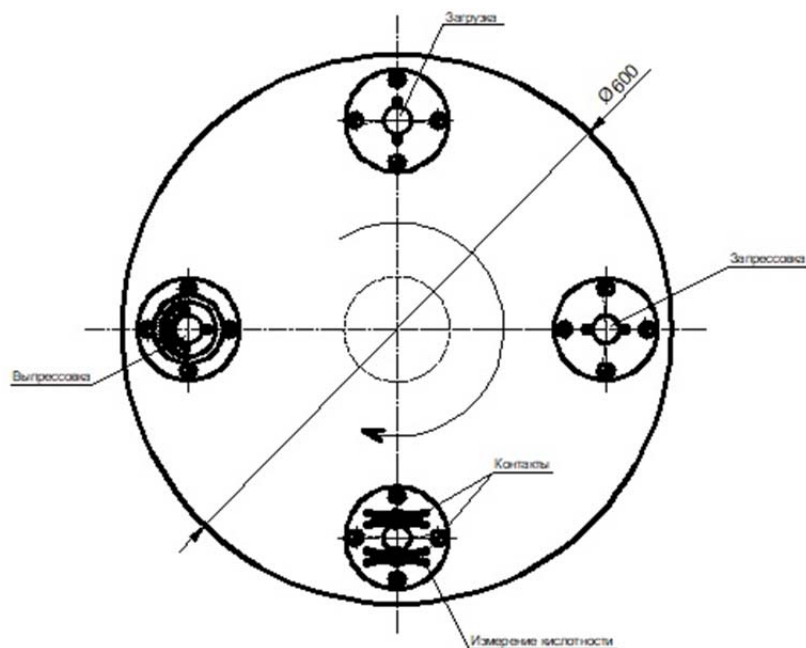


Рис. 1. Автоматизированная установка определения кислотности фторангидрита

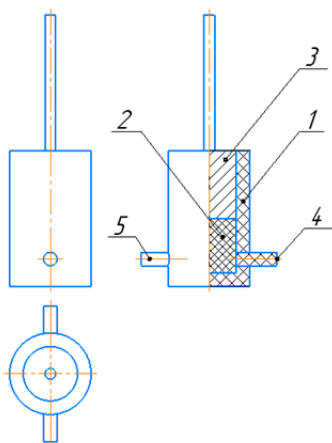
Автоматизированная установка предполагает наличие 4 ячеек. Фторангидрит из печи порционно подводится в ячейку, в которой установлены угольные электроды. Цилиндрическая установка после заполнения ячейки производит поворот на  $90^\circ$ , где произво-

дится таблетирование смеси пуансоном при заданном давлении. После таблетирования установка вновь совершает поворот на 90°. В данном положении угольные электроды стыкуются с контактами измерительного прибора. При прохождении тока через таблетку производится измерение напряжения. В крайнем положении нижняя крышка установки открывается, давая возможность второму пуансону произвести выталкивание.

При каждом повороте установки в ячейку в положении «Загрузка» производится подача фторангидрита. Таким образом обеспечивается непрерывность измерения отвала на кислотность.

Была создана лабораторная установка и проведены исследования, направленные на определение электрической проводимости кислого фторангидрита.

Схема лабораторного устройства для контроля кислотности фторангидрита представлена на рисунке 2:



*Рис. 2. Лабораторное устройство контроля кислотности фторангидрита:  
1 – корпус ячейки; 2 – фторангидрит; 3 – пуансон; 4, 5 – угольные электроды*

Принцип работы основан на электропроводности серной кислоты. В цилиндрической ёмкости из фторопласта (1) фторангидрит (2) таблетировается с использованием пуансона (3). Затем к угольному стержню (4) подключается источник питания, и через электрод (5) измеряется напряжение при прохождении тока.

Далее проводился анализ полученных результатов и их представление в виде графиков, отражающих воздействие различных параметров на электропроводимость фторангидрита с различным содержанием кислоты.

На основе проведенных исследований был сделан вывод о том, что увеличение содержания серной кислоты во фторангидрите снижает его электропроводимость. Также на показания напряжения влияет сила сжатия фторангидрита в процессе таблетирования.

### **Список литературы**

1. Шашкель П.П. Отходы фосфогипса / П.П. Шашкель // Химия и жизнь. – 1982. – № 8. – С. 46.
2. Воробьев Х.С. Гипсовые вяжущие изделия (Зарубежный опыт) / Х.С. Воробьев. – Москва: Стройиздат, 1983. – 201 с.
3. Патент № 2546994 Российская Федерация, МПК G01N27/02 (2006.01). Контактное устройство для определения электрического сопротивления порошкового материала при его сжатии: № 2013149589; заявл. 11.06.2013; опубл. 10.04.2015 / Шаповалов А.М., Мокрушин В.В., Коршунов К.В.; заявитель ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 12 с.: ил.

## РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ПО СТАНДАРТУ IEC 61499 ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА

Федотов А.Д.  
НИ ТПУ, ИШИТР, гр. 8ТМ22,  
E-mail: adf6@tpu.ru

Как ранее закономерно была признана необходимость перевода сложных производств от централизованного типа организации производства к распределенному, так сегодня признается необходимость овладения собственными средствами для создания распределенных систем управления технологическим процессом. Возрастающая необходимость, прежде всего, связана с недостаточным количеством исследований, поскольку до ограничения западными производителями поддержки готовых решений, которые они поставляли российским предприятиям, и самого доступа к оборудованию, было принято использовать эти решения и обучаться по предоставляемым этими организациями методическим указаниям по проектированию распределенных систем управления, используя западные решения.

Программирование ПЛК является одним из ключевых действий для создания системы управления технологическим процессом. Для централизованной системы удобен стандарт МЭК 61131-3, в котором описываются языки программирования ПЛК, из которых язык Function Block Diagram (FBD) важен в понимании стандарта, разработанного специально для разработки приложений под распределенные системы управления (PCU) – стандарта IEC 61499 [1].

Программа, созданная по стандарту IEC 61499, представляет из себя соединенные друг с другом функциональные блоки, похожие на те, что используются в языке FBD. Тем не менее, значительным отличием и преимуществом является наличие входов и выходов для информации по произошедшим событиям. Ниже приведен общий вид функционального блока IEC 61499.

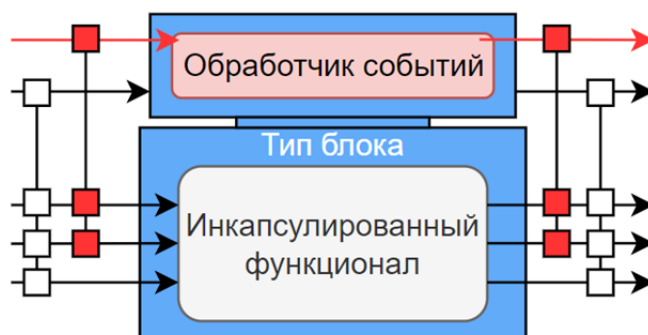


Рис. 1. Функциональный блок IEC 61499

Работа блока осуществляется следующим образом [2], когда входящие события поступают на обработчик событий, обновляются связанные с событием данные на информационных входах блока; выполняется внутренняя программа блока; по окончании работы инкапсулированного функционала формируется новый пакет данных на информационных выходах; выходные данные, связанные с выходным событием обновляются; отправляется событие по окончании отработки блока.

Стандарт IEC 61499 расширяет стандарт МЭК 61131-3 благодаря инкапсуляции составляющих программы для улучшения условий повторного использования части программы внутри проекта и вне его. Это достигается, прежде всего, с помощью облегченной коммуникации типа «контроллер-контроллер» и позволяет разработать программу, вписывающуюся в инфраструктуру Индустрии 4.0 и промышленных приложения Интернета Вещей.

Структура приложения, разработанного в соответствии со стандартом IEC 61499, позволяет распределить выполнение функциональных блоков в одного приложения по всем ресурсам системы, не ограничиваясь одним устройством ПЛК или ПК, если это необходимо.



Разработку системы под стандартом 61499 можно вести различными способами, однако наиболее свободными и доступными являются решения с открытым исходным кодом, среди которых выделяется программа *4diac*.

Программа для разработки приложений для РСУ *4diac* представляет особый интерес, поскольку написана на языке программирования C++ и, как было упомянуто ранее, имеет открытый код. В связи с этим представляется возможность запуска программы (и, соответственно, приложения, разработанного в ней) на любом устройстве с поддержкой этого высокоуровневого языка.

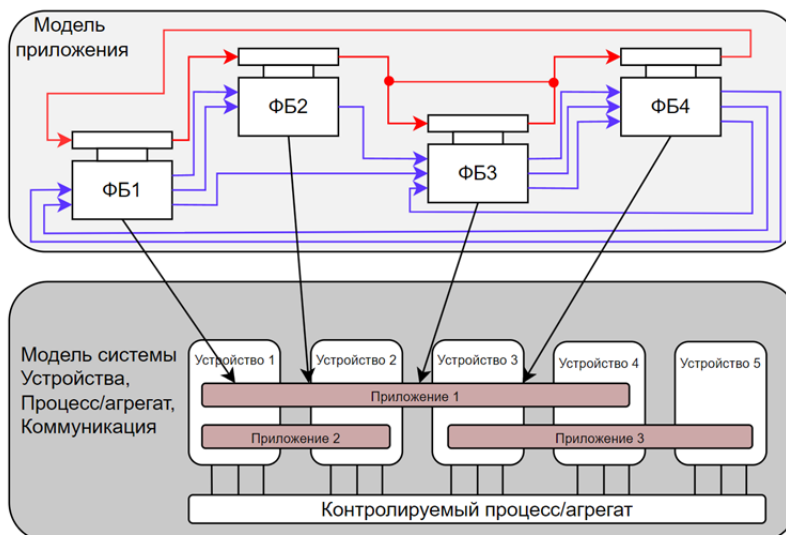


Рис. 2. Структурная схема связи приложений и технологического процесса

Логика инкапсулированного функционала может быть прописана на любом языке из МЭК 61131-3 или C++. Последний также удобен для переноса логики работы блоков на устройства типа «микроконтроллер» и персональных компьютеров, которые так же могут являться частью РСУ.

Таким образом, изучение стандарта IEC 61499 является одним из возможных направлений в развитии отечественной автоматизации технологических процессов и производств. Наличие таких решений с открытым исходным кодом, как *4diac*, предоставляет возможности для изучения стандарта и его практического применения, а также наличие поддержки, поскольку поддержка программы ведется каждодневно. Изучение и доработка стандарта позволит приблизиться к конечной цели – создание отечественного аналога приложений «под ключ» для распределенных систем управления производства западных компаний по автоматизации.

### Список литературы

1. International Electrotechnical Commission. IEC 61499. Function Blocks for Industrial Process Measurement and Control Systems. Part 1 – Architecture. – Geneva, 2005
2. IEC 61499. The new standard in automation. Main parts of IEC 61499. // IEC Standards: сайт. – 2023. – URL: <https://iec61499.com/> (дата обращения: 17.11.2023)
3. Стандарт IEC61499 и система программирования контроллеров ISaGRAF 5: от теории к практике // Стандарт IEC 61499 – Электронный документ. – 2009 – URL: [https://fiord.com/download/New\\_articlies/REM-IEC61499%20-%20ISaGRAF%20-%20N2%202009.pdf](https://fiord.com/download/New_articlies/REM-IEC61499%20-%20ISaGRAF%20-%20N2%202009.pdf)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА УСРЕДНЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКА

Смирнов Л.Ю.<sup>1</sup>, Сизов С.И.<sup>2</sup>, Ефремов Е.В.<sup>3</sup>, Фейгин А.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0701,

E-mail: lys9@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, инженер-исследователь,

E-mail: sis17@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, доцент,

E-mail: efremov@tpu.ru;

<sup>4</sup>АО «Прорыв», и.о. начальника отдела ИТ,

E-mail: feygin-ai@mail.ru

В рамках проекта «Прорыв» госкорпорации «Росатом» сотрудниками ТПУ разрабатывается цифровой двойник модуля фабрикации топлива. Среди прочего он предназначен для моделирования процессов, происходящих на участке усреднения пресс-порошка. Настоящая работа посвящена созданию модели для соответствующего программного блока.

Разработанная в данной работе модель позволяет решать следующие задачи:

- оценка риска производства некачественной продукции;
- управление ресурсами (расчет удельного потребления ресурсов);
- определение времени до начала планово-предупредительных работ (ППР);
- определение и визуализация показателей, характеризующих работу участка, обработка и представление полученной информации для персонала.

Входными данными для разрабатываемой модели являются гранулометрический состав гранулята, частота вращения и время усреднения. Выход – степень смешения порошка. Так как топливный порошок состоит из двух компонентов, о качестве смеси судят по степени распределения ключевого компонента в объеме второго компонента. В качестве основы критерия оценки качества смеси принято среднее квадратическое отклонение содержания ключевого компонента в пробах, взятых из смеси. Дисперсия распределения целевого компонента по объему загрузки контейнера определяется по формуле

$$\sigma = \left( \sum_{i=1}^N (C_i - C)^2 V_i \right) / \left( \sum_{i=1}^N V_i \right), \quad (1)$$

где  $V_i = M_i/\rho_i$  – объем  $i$ -го слоя гранулята;  $C_i = m_i/V_i$  – концентрация целевого компонента в  $i$ -м слое;  $C = (\sum_{i=1}^N m_i) / (\sum_{i=1}^N V_i)$  – концентрация целевого компонента в контейнере, содержащем  $N$  слоев гранулята.

Начальная степень смешения определяется по формуле:

$$Z_0 = 1 - \sqrt{\sigma/\sigma_0}, \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  – дисперсия для случая полного разделения компонентов смеси.

Степень смешения в процессе усреднения:

$$Z = Z_0 + (1 - e^{-\Phi t}(1 - Z_0)), \quad (3)$$

где  $\Phi$  – эмпирическая константа скорости смешения.

Скорость смешения, помимо прочего, зависит от частоты и коэффициента заполнения контейнера аппарата, т. к. при некоторой частоте порошок прижимается центробежной силой к стенкам, а также «оптимальная» частота, при которой скорость перемешивания максимальна. Эту зависимость можно приблизительно описать следующим образом:

$$\begin{cases} \Phi = C_{yc}(1 - k_3) \left( \frac{2n}{n_{опт}} - \frac{n^2}{n_{опт}^2} \right), & 0 \leq n \leq n_{опт} \\ \Phi = C_{yc}(1 - k_3) \left( 1 + \frac{2nn_{опт} - n^2 - n_{опт}^2}{(n_{кр} - n_{опт})^2} \right), & n_{опт} < n \leq n_{кр}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $C_{yc}$  – конструктивный коэффициент;  $k_3$  – коэффициент заполнения контейнера гранулятом;  $n$  – частота вращения контейнера усреднителя;  $n_{опт}$  – «оптимальная» частота вращения контейнера;  $n_{кр}$  – критическая частота вращения контейнера.

Программа, реализующая модель участка, была написана на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt. Для того, чтобы реализовать функции модели, была сформирована система классов, представляющих вышеуказанные объекты участка.

Работа модели участка происходит следующим образом: создаются все существующие объекты и установки участка усреднения, выполняется установка атрибутов объектов значений, предусмотренных начальными условиями, запускается цикл по времени, в рамках которого осуществляется ряд проверок, связанных с ходом времени, по итогу которых состояние системы обновляется. Разработанный алгоритм работы цифрового двойника участка усреднения представлен на рис. 1.

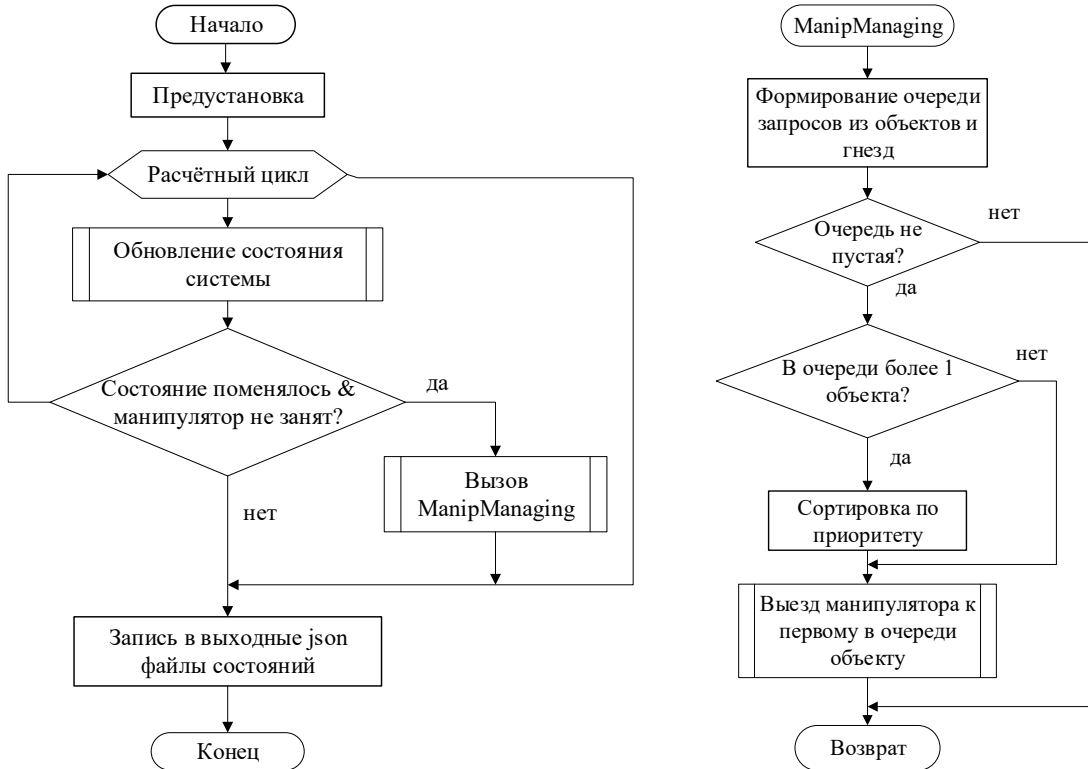


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы

В результате работы программа генерирует файлы, содержащие состояния производственного участка и произведенные продукты с их характеристиками.

Ниже приведены диаграммы, которые иллюстрируют результаты моделирования работы производственного участка за время моделирования, среди них: общая масса произведённого продукта в зависимости от количества партий продукта, график работы оборудования, диаграмма доли качественного продукта, график изменения степени смешения.

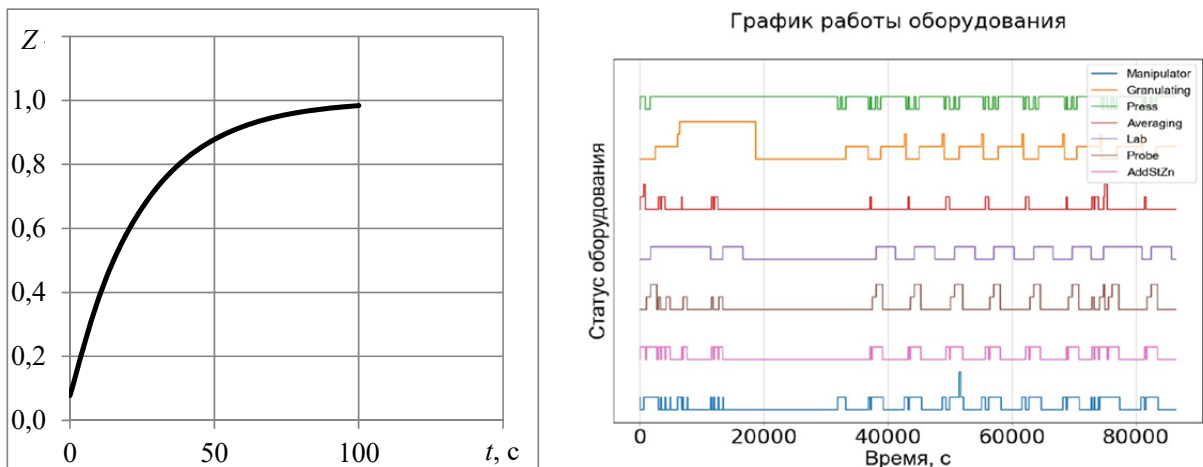


Рис. 2. Результаты моделирования работы участка усреднения

В результате работы была разработана модель имитации работы участка усреднения. Полученные в данной работе результаты предоставляют возможность оптимизации операций в производственных процессах и повышения эффективности деятельности промышленных предприятий, применяющих аналогичное оборудование.

#### **Список литературы**

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

2. Глушенков А.Е., Давыдов А.В., Чамовских Ю.В., Шкурин П.А., Сергеев Н.Г. Смирнов В.П., Павлов С.В., Денисов А.Л., F. Renard, V. Reynaud Особенности проектирования, изготовления и внедрения лабораторного и промышленного оборудования для фабрикации таблеток МОКС и нитридного топлива в РФ. [Электронный ресурс] // URL: <https://sosny.ru/files/publications/Nitride%20Fuel%20Pellets.pdf>.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОРОШКА СО СТЕАРАТОМ ЦИНКА

*Хохленков М.Е.<sup>1</sup>, Сизов С.И.<sup>2</sup>, Ефремов Е.В.<sup>3</sup>, Фейгин А.И.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0701,

E-mail:meh2@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, инженер-исследователь,

E-mail:sis17@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, доцент,

E-mail:efremov@tpu.ru;

<sup>4</sup>АО «Прорыв», и.о. начальника отдела ИТ,

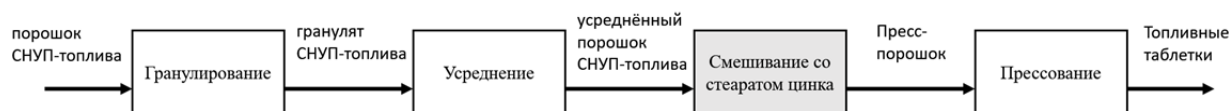
E-mail:feygina-ai@mail.ru

С использованием современных технологий создаются виртуальные модели производственных систем, что позволяет выбирать оптимальные режимы работы и проводить эксперименты без риска повреждения оборудования. Это также помогает оптимизировать износ и вероятность выхода из строя элементов системы.

Госкорпорация «Росатом» реализует проект «Прорыв», который направлен на создание ядерных технологий на базе замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с реакторами на быстрых нейтронах. С целью исследования работоспособности, управляемости и оптимизации как отдельных процессов, узлов и установок, так и технологических схем в целом, сотрудниками Отделения ядерно-топливного цикла ТПУ разрабатывается программный комплекс КОД ТП.

В схемах ЗЯТЦ присутствует технологический процесс перемешивания смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топливо) со стеаратом цинка. А так как данный модуль в КОД ТП отсутствует, появилась необходимость его создания.

Смешивание со стеаратом цинка происходит в аппарате усреднения, (рис. 1) где к грануляту добавляется стеарат цинка. Установка приводится во вращение и происходит перемешивание гранулята с частицами стеарата цинка, а также их прилипание к гранулам. Получаемый продукт – пресс-порошок, который используется для дальнейшего производства таблеток. Создание виртуальной модели этого процесса позволяет проводить оптимизацию и эксперименты без риска повреждения оборудования.



*Рис. 1. Смешивание со стеаратом цинка в схеме фабрикации СНУП-топлива*

При математическом описании процессов перемешивания обычно в качестве входных выбираются размеры частиц, их массовые доли, параметры установки, а в качестве выходных – коэффициент налипания/смешения. Поэтому при создании модели процесса производства пресс-порошка в качестве входных были выбраны (рис. 2): частота вращения контейнера ( $f$ ), размеры гранул ( $d_1 \dots d_k$ ), относительные доли их содержания в грануляте ( $n_1 \dots n_k$ ), размеры частиц стеарата цинка ( $d_{1c} \dots d_{kc}$ ), относительные доли их содержания ( $n_{1c} \dots n_{kc}$ ), плотность гранулы ( $\rho$ ), плотность частицы стеарата цинка ( $\rho_c$ ), конструктивный коэффициент установки ( $k$ ), а в качестве выходной – коэффициент налипания  $K_n$ , который численно равен отношению площади гранул, покрытых частицами стеарата цинка к общей площади гранул [1–3].



*Рис. 2. Информационная схема модели процесса смешивания со стеаратом цинка*

В качестве основы было решено взять ранее разработанную и внедренную в КОД ТП модель процесса усреднения, дополнив ее следующими соотношениями.

На основании [4] расчет коэффициента налипания  $K_H$  производится по формуле:

$$K_H = \frac{S_{\text{нал.}}}{S_{\text{общ.}}} = \left( \left( \frac{W_{\text{действ.}}}{W_{\text{необх.}}} \right)^{\left( \frac{1}{1 + e^{k \left( \frac{W_{\text{действ.}}}{W_{\text{необх.}}} - 1 \right)}} \right)} \right) (1 - e^{-\alpha t}), \quad (1)$$

где  $S_{\text{нал.}}$  – площадь гранулята, покрытая стеаратом цинка;  $W_{\text{необх.}}$  – массовая доля стеарата цинка, необходимая для полного покрытия гранулята;  $W_{\text{действ.}}$  – массовая доля стеарата цинка, фактически добавленная в аппарат;  $k$  – конструктивный коэффициент;  $\alpha$  – константа скорости смешения.

Для расчёта массовой доли стеарата цинка, необходимой для покрытия всех гранул частицами стеарата цинка было решено воспользоваться формулой [5]:

$$W = \frac{N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}}{D^3 \cdot \rho_{\text{гр.}} + N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество частиц стеарата цинка, необходимое для покрытия одной гранулы;  $D$  – диаметр частиц гранулята;  $d$  – диаметр частиц стеарата цинка;  $\rho_{\text{гр.}}$  – плотность гранулы;  $\rho_{\text{ст.}}$  – плотность частицы стеарата цинка.

Для расчёта количества частиц стеарата, покрывающих одну гранулу, было решено воспользоваться формулой, отражающей зависимость количества частиц стеарата цинка от размеров гранулы и частиц стеарата цинка:

$$N = \frac{4(D+d)^2}{d^2}, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр частиц гранулята;  $d$  – диаметр частицы стеарата цинка;  $N$  – количество частиц стеарата цинка, находящихся в контакте с гранулой.

В ходе исследования был изучен подход к описанию процесса смешения со стеаратом и создано математическое описание этого процесса. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности работы промышленных предприятий, использующих аналогичные установки.

### Список литературы

1. Dry mixing and coating of powders – URL: [https://www.researchgate.net/publication/45259158\\_Dry\\_mixing\\_and\\_coating\\_of\\_powders](https://www.researchgate.net/publication/45259158_Dry_mixing_and_coating_of_powders) – Текст: электронный.
2. Mechanical Methods for Dry Particle Coating Processes and Their Applications in Drug Delivery and Development – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/78896815.pdf> – Текст: электронный.
3. Закономерности Измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава – URL: [https://www.studmed.ru/andreev-s-e-tovarov-v-v-perov-v-a-zakonomernosti-izmelcheniya-i-ischislenie-harakteristik-granulometricheskogo-sostava\\_b4187c5c6a0.html](https://www.studmed.ru/andreev-s-e-tovarov-v-v-perov-v-a-zakonomernosti-izmelcheniya-i-ischislenie-harakteristik-granulometricheskogo-sostava_b4187c5c6a0.html)
4. Functionalised particles using dry powder coating in pharmaceutical drug delivery: promises and challenges – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/78896815.pdf>
5. Dry Particle Coating for Improving the Flowability of Cohesive Powders URL: [https://www.researchgate.net/publication/228408784\\_Dry\\_Particle\\_Coating\\_for\\_Improving\\_the\\_Flowability\\_of\\_Cohesive\\_Powders](https://www.researchgate.net/publication/228408784_Dry_Particle_Coating_for_Improving_the_Flowability_of_Cohesive_Powders)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДИСПЕРГАТОРОВ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Кушнер Л.Е.<sup>1</sup>, Никульчиков А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШПР, 2БМЗ6,

E-mail: lek4@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШПР, доцент,

E-mail: nav281087@tpu.ru

Для ускорения и оптимизации процесса строительства скважины необходимо использовать наиболее рациональные способы приготовления и обработки бурового раствора. Поскольку раствор на углеводородной основе (РУО) является смесью 2-х фаз (воды и масла), важнейшим условием является взаимодействие этих компонентов на молекулярном уровне. И чем меньше капли одной фазы в другой, тем выше электростабильность и, соответственно, стабильнее буровой раствор [1]. В связи с этим, очень важно выбрать наиболее приемлемый способ диспергации.

Для приготовления РУО предлагается использовать различные способы диспергирования: гидравлический [2, 3], ультразвуковой [4–8], центробежный [9,10], турбинный [11].

По результатам предыдущих анализов [12, 13], наиболее рационально использование диспергатора центробежного (роторного) типа. Поскольку данный диспергатор может работать самопроизвольно (без бурового насоса или цементировочного агрегата) и диспергировать большие объемы бурового раствора.

В исследованиях, приведенных ранее [10] сравнивается влияние работы на буровой раствор на углеводородной основе. Одной из слабых частей исследования является отсутствие зависимости между формой и расположением статорно-роторного механизма диспергатора (рис. 1–4) на процесс и качество диспергации.



Рис. 1. Пятирядный диспергатор одностороннего действия



Рис. 2. Семирядный диспергатор одностороннего действия



Рис. 3. Пятирядный диспергатор двустороннего действия



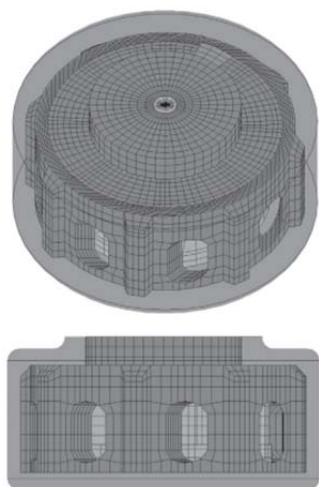
Рис. 4. Диспергатор Silverson

Для того, чтобы подобрать форму роторно-статорного механизма необходимо знать зависимость между вязкоупругими свойствами жидкости, протекающей в теле диспергатора, и скоростью измельчения частиц. В исследовании [14] проанализировали выбор оптимального исполнения роторно-статорного механизма в центробежном диспергаторе при помощи моделей DEM-CFD для диспергирования наночастиц титана.

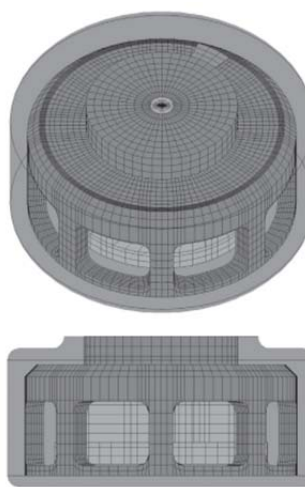
Сильной стороной анализа является наличие двух моделей: практической и аналитической. Благодаря чему можно коррелировать данные и создать прогнозируемую модель. Основой для моделирования в данном случае является не смешивание двух жидкостей, а анализ размера наночастиц, получившиеся в результате измельчения в центробежном диспергаторе.



Важнейшим показателем для измельчения наночастиц в центробежном диспергаторе является скорость вращения ротора. Чем выше скорость – тем выше энергия удара частицы и больше вероятность её измельчения. В результате моделирования, при увеличении размера впускных окон (рис. 5, 6) регулируется сила удара наночастицы о корпус статора и уменьшается энергию её столкновения. Для диспергирования отлично подходит вариант на рис. 6.



*Рис. 5. Вариант исполнения роторно-статорного механизма с узкими впускными окнами*



*Рис. 6. Вариант исполнения роторно-статорного механизма с широкими впускными окнами*

Также стоит заострить внимание на том, что процесс диспергации несёт в себе ряд проблем. Одной из проблем является то, что при высокой разнице скоростей и снижении давления происходит кавитация. С её помощью мельчайшие частицы раствора изменяют агрегатное состояние с жидкого на газообразное и проще диспергируются. Однако, в процессе кавитации происходит активный износ частей роторно-статорного механизма.

Наиболее рационально для построения первой конечно-объемной модели является использовать пример бурового диспергатора от компании Silverson (рис. 5) [15]. Технические характеристики, необходимые для моделирования:

- Частота вращения ротора – 3600–4500 об/мин.
- Максимальное давление – 7 атм.
- Объемный расход – 20 м<sup>3</sup>/час.

В ходе анализа проанализирована возможность диспергации бурового раствора центробежными диспергаторами. Перед нами встаёт много задач, которые можно решить:

- Построение собственной конечно-объемной модели, в которой можно рассмотреть кавитацию в различных по форме центробежных диспергаторах.
- Построение зависимости между моделью с наночастицами одной фазы и двухфазной эмульсией.
- Анализ влияния кавитации и наличия твердой фазы в буровом растворе на скорость износа диспергатора.

### **Список литературы**

1. Mi Swaco. Руководство по буровым растворам для инженеров-технологов. Ред. 2.1. США, 2009. – 992 с.
2. Диспергатор гидравлический ДГ-40 // Межкорпоративная web-система передачи данных: сайт. – 2023. URL: <https://go-base.ru/catalog/nomenclature/details/id/1070>.
3. Диспергатор гидравлический ДГ-40 // Нефтемаш. Краснодарский завод: сайт. – 2023. URL: <https://remoil.ru/products/3/45>.
4. Коваль М. С. Обоснование и разработка технологии приготовления буровых растворов на углеводородной основе методом ультразвукового воздействия: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. Наук: 25.00.15 / М.С. Коваль. – Самара, 2020. – 94 с.

5. Коваль М.Е. Влияние способов приготовления растворов на углеводородной основе на их основные параметры / М. Е. Коваль // Научно-технический ежемесячный журнал «Нефть. Газ. Новации». – 2020. – № 3. – С. 30–36.
6. Коваль М.Е. Исследование влияния концентрации смазывающей добавки в рецептуре бурового раствора на коэффициенты трения / М. Е. Коваль [и др.] // Научно-технический ежемесячный журнал «Нефть. Газ. Новации». 86 – 2018. – № 10. – С. 32–35.
7. Коваль М.Е. Оценка возможности использования выбуренной породы для ликвидации поглощений / М.Е. Коваль [и др.] // Нефть. Газ. Новации / ООО «Портал Инноваций». – 2019. – № 11. – С. 52–60.
8. Коваль М.Е. Практическое применение методов подбора кольматантов для предупреждения осложнений при бурении скважин на месторождениях Самарской области / М.Е. Коваль [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2017. – № 7. – С. 9–15.
9. Диспергаторы роторные. Тип РДН // 100 лучших товаров России: сайт. – 2023. URL: <https://100best.ru/content/товары-i-predpriyatiya?i1=11223&i2=42775>.
10. Jiengju Lin, Natalia Collins, Kevin Smith, Daan Veeningen, Highland Fluid Technology; and Sam Smith, Newpark Improving Drilling Fluid Preparation with High-Shear Mixing in Liquid Mud Plants // AADE-18-FTCE- 113. American association of drilling engineers. 2018.
11. Мозговой В.Г., Алтухов М.А., Анушенков А.Н.; ФГОУ ВПО «СФУ»; Кавитационный гидроударный диспергатор. Патент RU74084U1.
12. Кушнер Л.Е. Анализ способов диспергирования растворов на углеводородной основе в полевых условиях // Актуальные проблемы недропользования. тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 2022. – С. 140–142.
13. Кушнер Л.Е. Введение различных диспергаторов в эксплуатационное бурение скважин // Новые технологии – нефтегазовому региону. материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В IV т. Тюмень, 2022. С. 139-142.
14. Yu Nagata, Masaya Minagawa, Shosei Hisatomi, Yuki Tsunazawa, Kyoko Okuyama , Motonori Iwamoto, Yasuyoshi Sekine, Chiharu Tokoro Investigation of optimum design for nanoparticle dispersion in centrifugal bead mill using DEM-CFD simulation // Advanced Powder Technology. 2019.
15. High Shear In-Line Mixers // <https://www.silverson.com/>: сайт. – 2023. URL: <https://www.silverson.com/us/products/in-line-mixers/>.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА ГРАНУЛИРОВАНИЯ

Семенов Д.Ю.<sup>1</sup>, Сизов С.И.<sup>2</sup>, Ефремов Е.В.<sup>3</sup>, Фейгин А.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0701,

E-mail: dys12@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, инженер-исследователь,

E-mail: sis17@tpu.ru;

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, доцент,

E-mail: efremov@tpu.ru;

<sup>4</sup>АО «Прорыв», и.о. начальника отдела ИТ,

E-mail: feygin-ai@mail.ru

Виртуальное моделирование, применяемое в различных сферах, таких как производство, научные исследования, экономика, военная область и др., предоставляет возможность оптимизации режимов функционирования оборудования, проведения безопасных виртуальных экспериментов, исключая риск повреждения ценного оборудования. Также в рамках данного подхода часто осуществляется расчет износа, а также вероятности отказов в производственных процессах.

В рамках проекта «Прорыв» Государственной корпорации «Росатом» сотрудниками Отделения ядерно-топливного цикла Томского политехнического университета разрабатывается программный комплекс под названием «Код оптимизации и диагностики технологических процессов (КОД ТП)». Данный комплекс предназначен для имитации работы технологических схем замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с целью изучения работоспособности, управляемости и оптимизации как отдельных процессов, узлов и установок, так и технологических схем в целом.

Один из технологических процессов ЗЯТЦ (см. рис. 1) представляет собой гранулирование порошка смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива) [1, 2]. Именно по этой причине возникла потребность в разработке в составе программного комплекса «КОД ТП» модуля, имитирующего процесс гранулирования.

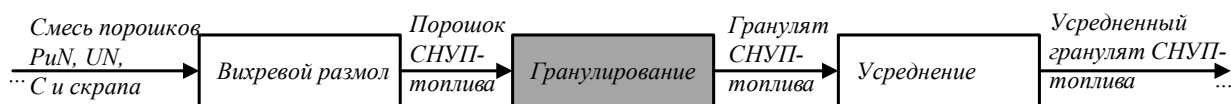


Рис. 1. Гранулирование в схеме фабрикациии СНУП топлива

Для вычисления необходимой в ходе разработки модели насыпной плотности гранулята следует воспользоваться следующими формулами:

$$\rho_{гр} = (1 - e^{-k_0 \cdot (\rho_n + k)}) \rho_{max}; \quad (1)$$

$$k = \left( \frac{-1}{k_0} \right) \ln \left( 1 - \frac{\rho_{min}}{\rho_{max}} \right); \quad (2)$$

$$\rho_n = \rho_{п} \cdot \left( 1 + \frac{R_B}{d_3} a^2 \right); \quad (3)$$

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{2R_B + d_3 - D_{ш}}{2R_B} \right); \quad (4)$$

$$\rho_{п} = \frac{\rho_{п0} \cdot n_{ш} \cdot C_{ш}}{2 \cdot R_B \cdot \pi \cdot n_B \cdot D_{ш} \cdot d_3}, \quad (5)$$

где  $k_0$ ,  $\rho_{min}$ ,  $\rho_{max}$  – экспериментальные параметры гранулята;  $\rho_n$  – плотность спрессованного в ленту порошка;  $\rho_{п}$  – плотность порошка в бункере;  $\rho_{п0}$  – насыпная плотность порошка в бункере;  $\rho_{гр}$  – насыпная плотность гранулята;  $\alpha$  – угол захвата материала;

$R_b$  – радиус валков;  $D_{ш}$  – диаметр шнека,  $d_3$  – ширина зазора между валками;  $n_{ш}$ ,  $n_b$  – частота вращения шнека и валков соответственно;  $C_{ш}$  – конструктивный коэффициент шнека.

Построим графики (рис. 2) зависимости насыпной плотности гранулята от экспериментальных параметров. Для этого примем следующие значения параметров распределения за базовые, после чего будем изменять отдельные из них для получения необходимых графиков зависимости:  $k_0 = 0.1$ ;  $\rho_{\min} = 5.6$ ;  $\rho_{\max} = 6.2$ .

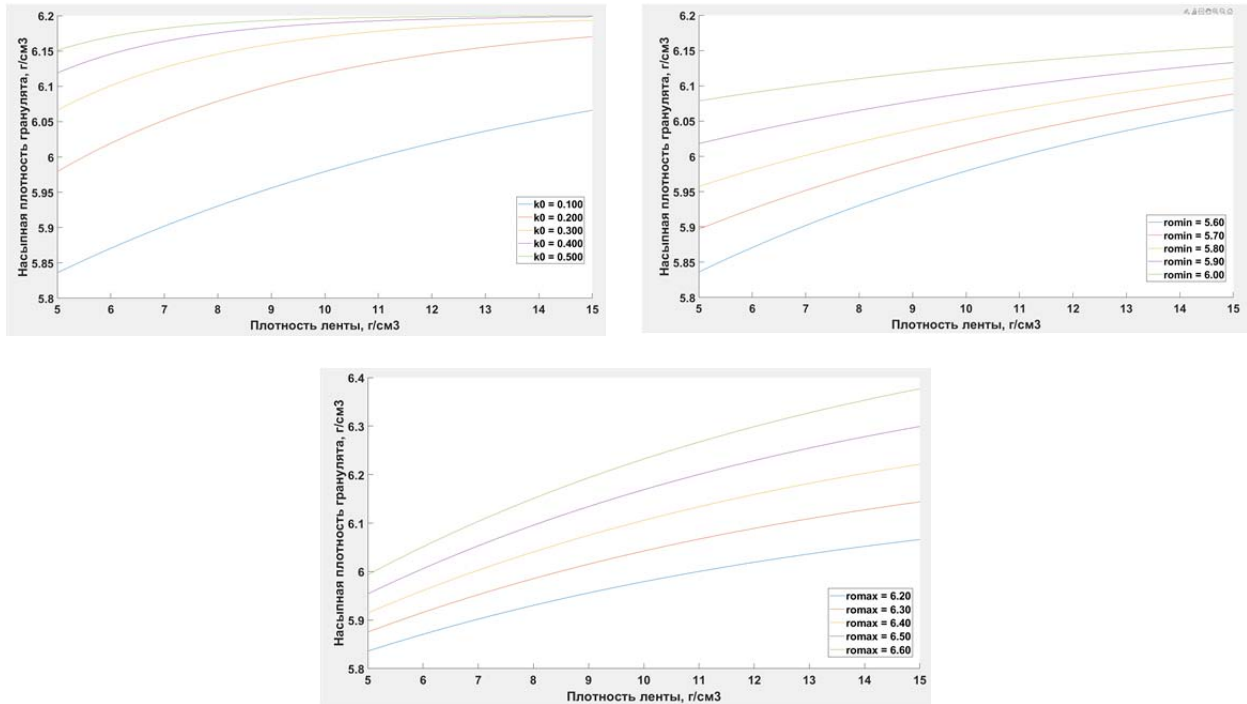


Рис. 2. Зависимость насыпной плотности гранул от различных параметров

Для реализации программной модели было принято решение воспользоваться фреймворком QT C++. Это обусловлено тем, что другие компоненты в программном комплексе «КОД ТП» уже были разработаны с использованием данного фреймворка.

Был введен класс Granulation (рис. 3), который абстрагирует общий функционал установки гранулирования. Это сведение описания процесса гранулирования в единый класс было выполнено с целью упрощения интеграции модели в общую структуру «КОД ТП». Класс Granulation был оснащен набором методов, предназначенных для приема входных данных от установки вихревого размола и передачи данных этой установке для усреднения.

Для обмена информацией о составе слоев материала между установками был разработан класс Powder. На его основе были созданы производные классы PowderGrinded и PowderGranulated, которые описывают параметры слоя материала, поступающего с установки вихревого размола и установки гранулирования соответственно.

В результате проведенного исследования была разработана модель имитации работы участка гранулирования. Полученные резуль-

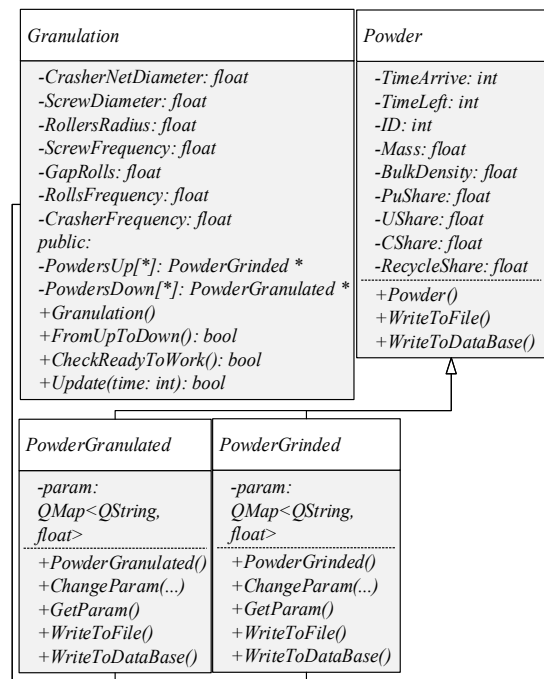


Рис. 3. UML-диаграмма классов

таты предоставляют возможность оптимизации операций в производственных процессах и повышения эффективности деятельности промышленных предприятий, использующих аналогичное оборудование.

#### **Список литературы**

1. Патент RU2785819C1 Колупаев Д.Н., Баранов О.Г., Карпенко А.А., Рассамагин С.В., Падалкин П.А., Апальков Г.А., Никитин С.С. Способ изготовления таблеток смешанного оксидного уран-плутониевого топлива.

2. Патент RU 2772886 Баранов О.Г., Карпенко А.А., Апальков Г.А., Ильиных Ю.С., Никитин С.С., Бычков И.С. Способ изготовления таблетированного уран-плутониевого топлива для тепловыделяющих элементов ядерных реакторов.

# ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ В ВАКУУМЕ

*Лысак Г.В.<sup>1</sup>, Сорокова С.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ТПУ ИШНПТ ОМШ гр. 4АМ2К,

E-mail: gv12@tpu.ru;

<sup>2</sup> ТПУ ИШНПТ ОМШ к.ф.-м.н., доц.,

E-mail: s\_sorokova@tpu.ru

Изделия из титана широко используются в авиации, космической промышленности, медицине и других отраслях [1–3]. Аддитивные технологии позволяют создавать сложные геометрические формы деталей без необходимости использования сложных инструментов и форм, что значительно упрощает производственный процесс. Наиболее перспективный метод изготовления деталей из титановых сплавов с использованием аддитивных технологий – это метод электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме, этот метод позволяет получать детали с высокой точностью и качеством [4, 5]. Процесс электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме происходит в специальной камере, в которой создается высокий вакуум. Проволока из титана подается в камеру и расплавляется при помощи электронного луча, который создается в специальном устройстве. Расплавленный титан наносится на поверхность заготовки, которая находится в камере.

Основные преимущества метода электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме заключаются в достижении высокой точности размеров и минимальных потерь материала, что делает его экономически эффективным. Однако, для получения оптимальных результатов необходимо учитывать множество факторов, таких как температура, скорость нанесения и толщина слоя. Выбор рациональных параметров теплового воздействия существенно влияет на качество при послойном формообразовании. Важными являются скорость и интенсивность теплового воздействия, при этом необходим постоянный контроль распределения температуры, как на поверхности, так и внутри изделия [6, 7]. Экспериментальное исследование исследования тепловых полей внутри материала при высококонцентрированном тепловом воздействии движущегося источника тепла при послойном сплавлении материала электронным лучом в вакууме затруднительно, поэтому перспективно использовать методы инженерного анализа, основанные на применении CAE систем. Математическое моделирование теплофизических процессов позволит установить предпочтительные режимы обработки изделий без многочисленных экспериментальных исследований. Настоящая работа посвящена созданию модели теплового состояния стальной подложки при послойном нанесении титанового сплава марки ВТ-6 с использованием программного комплекса ANSYS Workbench. Данная программа позволяет моделировать и анализировать различные физические процессы, происходящие при электронно-лучевой наплавке титановой проволоки, а также выполнять расчет остаточных напряжений и деформаций изделия.

Математическая модель теплового состояния стальной подложки включает в себя модель источника теплового воздействия и пластину из нержавеющей стали. 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;  $\rho$  – плотность;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $Q = Q(x, \tau)$  – плотность тепловых источников, т. е. количество тепла, выделяющееся в единицу времени в единице объема;  $\vec{x}$  – вектор, характеризующий

положение точки в пространстве;  $\tau$  – время. Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность могут зависеть от температуры, времени и координат.

Уравнение (1) с надлежащими начальными и граничными условиями представляет задачу о распределении температуры в каждой точке рассматриваемого объема вещества для любого момента времени. При этом предполагается, что начальное распределение температуры в материале и температурный режим на его границах известны, внутренние источники тепловыделения отсутствуют, тепловой источник имеет постоянную мощность и перемещается с постоянной скоростью вдоль оси  $x$ , коэффициент теплопроводности есть функция температуры  $\lambda = f(T)$ , а вдоль оси  $y$  исследуемый объект является полубесконечным, что дает нам право ограничиться уравнением в двумерной системе координат.

Запишем уравнение (1) в декартовой системе координат с учетом сделанных предположений

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2)$$

где  $C_p$  – удельная изобарная теплоемкость.

Начальное условие характеризует распределение температуры в объеме в момент времени  $\tau = 0$  и имеет вид:

$$\tau = 0 \quad T = T_0. \quad (3)$$

Граничные условия (ГУ) описывают тепловые режимы на границах рассматриваемого тела. При этом на границах  $0 - h$  и  $l - h$  (рис. 1) принимаются граничные условия второго рода (ГУ II), подразумевающие отсутствие стока тепла, т. е. производная от температуры по нормали к поверхности приравнивается нулю

$$-\lambda_1 \left( \frac{dT}{dn} \right)_n = q_n = 0. \quad (4)$$

На противоположной тепловоспринимающей поверхности  $h - l$  задается соотношение, связывающее значение температуры с величиной теплового потока (граничные условия третьего рода (ГУ III)). В этом случае тепловой поток пропорционален разности температур границы и окружающей среды

$$-\lambda_1 \left( \frac{dT}{dn} \right)_{ct} = \alpha (T_{ct} - T_{ж}). \quad (5)$$

Здесь коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  и температура окружающей среды  $T_{ж}$  должны быть известны.

На тепловоспринимающей поверхности  $0 - l$  приняты сложные граничные условия, зависящие от времени и координат. Условно разделим поверхность  $0 - l$  на три участка: первый, при  $\tau_1 > \tau > 0$ , характеризуется отсутствием теплового воздействия и описывается ГУ II (4); второй, при  $\tau_2 > \tau > \tau_1$ , тепловое состояние поверхности характеризуется величиной плотности радиально распределенного теплового потока, зависимость для ГУ II запишется в виде

$$-\lambda_1 \left( \frac{dT}{dn} \right)_n = q_n(\tau, x), \quad (6)$$

радиальное распределение плотности потока описывалось Гауссовской зависимостью. На третьем участке  $\tau > \tau_2$  наблюдается охлаждение поверхности в условиях естественной конвекции, что может быть также описано зависимостью (5).

Применение граничных условий для каждой поверхности подложки представлено на рис. 1.



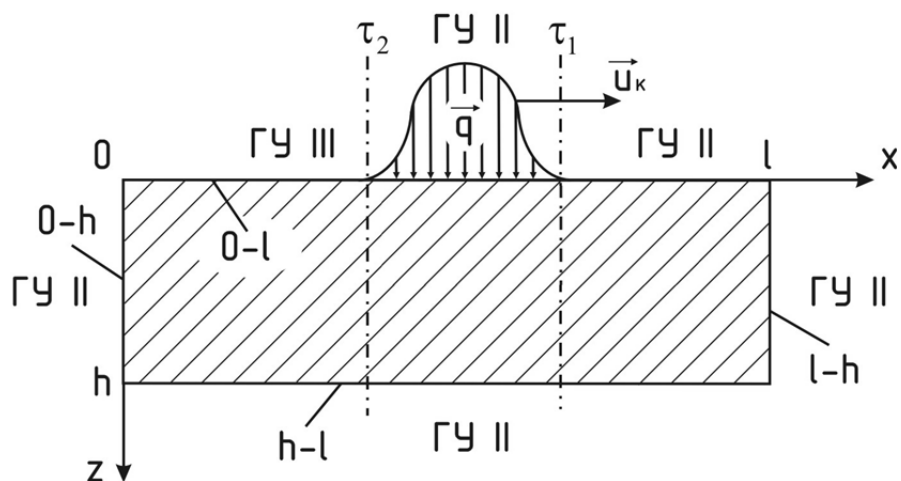


Рис. 1. Схема теплообмена стальной подложки

$\vec{u}_k$  – вектор скорости перемещения теплового источника;  $\tau_1$  – момент начала теплового воздействия;  $\tau_2$  – момент окончания теплового воздействия

При определении коэффициента теплоотдачи использовались эмпирические зависимости, описывающие теплообмен в условиях естественной конвекции для горизонтально расположенной пластины.

Результаты численного эксперимента позволят установить закономерности распределения температуры и скорости её изменения от действия электронного пучка

### Список литературы

1. Murr L.E. Metallurgy of additive manufacturing: examples from electron beam melting // Additive Manufacturing. – 2015. – Vol. 5. – P. 40–53. –DOI: 10.1016/j.addma.2014.12.002.
2. Milevski J.O. Additive manufacturing of metals: from fundamental technology to rocket nozzles, medical implants and custom jewelry. – Cham: Springer, 2017. –351 p. – ISBN 978-3-319-58205-4.
3. Additive manufacturing of metallic materials: a review/ Y. Zhang, L. Wu, X. Guo, S. Kane, Y. Deng, Engineering and Performance. – 2018. – Vol. 27, iss. 1. –P. 1–13. – DOI: 10.1007/s11665-017-2747-y.
4. Metallurgy, mechanistic models and machine learning in metal printing / T. DebRoy, T. Mukherjee, H.L. Wei, J.W. Elmer, J.O. Milewski // Nature Reviews Materials. – 2020. – Vol. 6. – P. 48–68. – DOI: 10.1038/s41578-020-00236-1.
5. Edwards P., O’Conner A., Ramulu M. Electron beam additive manufacturing of titanium components: properties and performance // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2013. – Vol. 135, iss. 6. – P. 061016. – DOI: 10.1115/1.4025773.
6. Tavlovich B., Shirizly A., Katz R. EBW and LBW of additive manufactured Ti6Al4V products // Welding Journal. – 2018. – Vol. 97, iss. 6. – P. 179–190. – DOI: 10.29391/2018.97.016.
7. Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products / S. Peleshenko, V. Korzhyk, O. Voitenko, V. Khaskin, V. Tkachuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3/1, iss. 87. – P. 42–52. –DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99666.

**СЕКЦИЯ 6**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## БИОДЕГРАДАЦИЯ НА ВТОРОМ ДЕСЯТКЕ ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Миндубаев А.З.<sup>1</sup>, Бабынин Э.В.<sup>2</sup>, Бадеева Е.К.<sup>3</sup>, Минзанова С.Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет  
420015, РТ, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

E-mail: mindubaev-az@yandex.ru;

<sup>2</sup>Татарский НИИ АХП ФИЦ КазНЦ РАН  
420059, РТ, г. Казань, Оренбургский тракт, 20а

E-mail: edward.b67@mail.ru;

<sup>3</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН  
420088, РТ, г. Казань, ул. Арбузова, 8

E-mail: ybadeev.61@mail.ru, minzanova@iopc.ru

### Аннотация

На протяжении свыше 14 лет ведется работа по исследованию биodeградации элементного фосфора, а также фосфорсодержащих соединений. За это время собран богатейший материал, получены уникальные результаты. В перспективе они могут стать основой эффективных методов предотвращения и ликвидации загрязнений токсичными соединениями фосфора.

**Ключевые слова:** биodeградация, детоксикация, токсичные соединения фосфора.

В основе метода биodeградации лежит удивительная способность микроорганизмов адаптироваться к самым неблагоприятным условиям существования. Большинство токсичных загрязнителей состоит из тех же химических элементов, что и биологические молекулы. Принцип биodeградации заключается в осуществляемой живыми организмами (в первую очередь, микробами) ферментативной переработке ксенобиотиков в безвредные природные вещества, включаемые в круговорот химических элементов.

Среди соединений фосфора встречаются самые токсичные вещества, созданные человеком, включая ставшие известными «Новички». Но, несмотря на это, они применяются практически во всех сферах деятельности – в металлургии, производстве пиротехники, спичек, полупроводников, пестицидов, лекарств, боевых отравляющих веществ, пластмасс, фосфорной кислоты, моющих средств, удобрений. Важнейшей основой фосфорной химии является белый (вещество технической чистоты носит название желтый) фосфор, поскольку он обладает высокой химической активностью и легко превращается в разнообразные продукты.

Более тринадцати лет назад возник наш проект обезвреживания ксенобиотиков, предназначенный для очистки сточных вод и загрязненных грунтов [1-4]. Работа направлена на разработку научных основ детоксикации белого фосфора – опасного промышленного загрязнителя окружающей среды. В наших работах впервые получены культуры микроорганизмов, растущие в культуральных средах, содержащих белый фосфор, и перерабатывающих его в фосфаты.

Главное преимущество метода – сравнительная экологическая безопасность. Существующие в настоящий момент методы обезвреживания [4] наряду с очевидными достоинствами представляют экологическую угрозу, поскольку требуют применения опасных химикатов. Либо значительных энергетических затрат.

Проект начался в 2009 году по заказу голландской фирмы Thermphos International. Задачей являлось обезвреживание белого и желтого фосфора – вещества первого класса опасности. В 2011 году вышла первая публикация. В 2012 году из осадка сточных вод с белым фосфором был выделен штамм устойчивого микроорганизма *Streptomyces* sp. A8. В 2014 году был получен грант РФФИ 14-08-31091 мол\_а (2014 – 2015 гг). «Биологическая деградация промышленных стоков, содержащих белый фосфор и его производные». В рамках работы по этому гранту впервые в мире создана культуральная среда, содержащая в качестве единственного источника элемента фосфора белый фосфор. Был выделен

штамм *Aspergillus niger*, источником которого стал белый фосфор, содержащий жизнеспособные споры. Этот факт является неординарным и демонстрирует поразительную жизнестойкость микроорганизмов. В дальнейших исследованиях мы впервые в мире приготовили ряд модификаций этой питательной среды. Рост грибов в них свидетельствует о превращении белого фосфора в фосфат, без которого невозможны жизнедеятельность и метаболизм. Это позволяет пересматривать определение белого фосфора как биоцида, и начинать рассматривать его как один из источников фосфора в биосфере.

В 2015 году показано, что деструкторами белого фосфора являются не только черные аспергиллы, но и плесневые грибы триходермы (*Trichoderma asperellum* F-1087). Штамм *Aspergillus niger* зарегистрирован в базе Gen Bank под названием AM1. В 2016 году результатом селекции стал суперустойчивый штамм *Aspergillus niger* AM2. В этом году вышел патент № 2603259. В 2017 году мы впервые в мире обнаружили у белого фосфора генотоксическое, ДНК повреждающее свойство [1]. Причем на нескольких объектах: прокариотическом организме – бактерии *Salmonella typhimurium* и эукариотическом – растении *Allium cepa*. Наши исследования показали, что белый фосфор является сильным мутагеном и даже в низкой концентрации 0.008 % вызывает резкое увеличение частоты генных и геномных перестроек. То есть, является еще более опасным для окружающей среды и людей, чем считалось до сих пор.

В 2018 году получен грант Старт 1 на реализацию проекта «Создание метода обезвреживания техногенных загрязнений белым и желтым фосфором при помощи известных культур микроорганизмов». Создано ООО Интехтокс (рис. 1). В рамках гранта проведены оптическая и электронная микроскопия штаммов AM1 и AM2, исследования протеома, которые позволили разобраться в адаптациях аспергиллов к белому фосфору. Выяснилось, что в устойчивости задействованы, как минимум, три механизма. Увеличение размеров и числа митохондрий – органелл, осуществляющих клеточное кислородное дыхание и продуцирующих активные формы кислорода, задействованные в окислении ксенобиотиков. В том числе, содержащих фосфор. Усложнение структуры и утолщение клеточных стенок, служащих барьером на пути проникновения в клетки ядовитых веществ. Появление белков, запускающих каскадные реакции ответа на стрессирующие факторы [4].



Рис. 1. Логотип ООО Интехтокс

Установлены промежуточные метаболиты белого фосфора, в чем нам помог метод ЯМР (ядерный магнитный резонанс). Установлено, что эти продукты в присутствии аспергиллов окисляются в культуральной среде быстрее по сравнению со стерильной средой, выступающей в роли контроля. Проведена продуктивная работа по расширению спектра обезвреживаемых соединений, включающего красный фосфор, фосфит, гипофосфит, фосфонаты. Показано, что не только белый, но и красный фосфор – наиболее важная для промышленности и мирового рынка аллотропная модификация этого элемента – также служит источником фосфора для наших штаммов [2]. Более того, в отношении черного аспергилла он не проявляет токсические свойства. С целью дальнейшего патентования штаммы *Aspergillus niger* AM1 и AM2 депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Присвоенные там названия штаммов мы еще не раскрываем в публикациях, поскольку на эти культуры еще не получены патенты. За период 2019 года об-

наружена минимальная ингибирующая концентрация белого фосфора для грибов. Кроме того, оптимизирован состав культуральных сред, что имеет важное значение для дальнейшего масштабирования их культивирования.

В 2020 году по международной базе данных NCBI установлено филогенетическое дерево штамма AM1. Согласно полученным данным, он имеет китайское происхождение и вместе с белым фосфором китайского производства был завезен в Россию. У имеющих самое близкое родство штаммов эволюционно давно сформировалась способность к усвоению фосфора из труднодоступных источников. Они делают почвенный фосфор более доступным за счет растворения малорастворимых фосфатных минералов. Наше ООО Интехтокс вошло в реестр участников проекта «Сколково».

В настоящее время продолжается исследование биodeградации при помощи исследуемых штаммов грибов пестицидов, содержащих фосфор, а также другие элементы, например, бор. Также, показана биodeградация лигнинсульфоната – отхода целлюлозно-бумажной промышленности. Планируется исследование транскриптомов AM1 и AM2.

Однако, проект внес вклад не только в прикладную науку, но и в ее популяризацию. Уже вышел ряд научно-популярных статей в журналах «Биомолекула», «Природа», «Наука и жизнь». На канале You Tube выложены видеолекции «Кто съел полиэтилен?», посвященные биodeградации.

### Список литературы

1. Mindubaev A., Babynin E., Minzanova S., Badeeva E., Akosah Y. White phosphorus genotoxicity / Bio web of conference. – 2021, Vol. 31. – No. 00018. – P. 1–3.
2. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Bedeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G., Akosah Y.A. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of FirstClass Hazard // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2021. – Vol. 66, No. 8. – P. 1239–1244.
3. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Voloshina A.D., Saparmyradov K.A., Akosah Y.A., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. The possibility of neutralizing white phosphorus using microbial cultures / News of NAS RK. Series of geology and technical sciences. – 2019. – Vol. 5, No. 437. – P. 122–128.
4. Mindubaev A.Z., Kuznetsova S.V., Evtyugin V.G., Daminova A.G., Grigoryeva T.V., Romanova Y.D., Romanova V.A., Babaev V.M., Buzyurova D.N., Babynin E.V., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2020. – Vol. 56, No. 2. – P. 194–201.

## КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,  
Штенцов Д.Г., аспирант  
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,  
Сечин А.И., д.т.н. профессор,  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: chemy@tpu.ru

Физиологическая норма жесткости воды хозяйственно-бытового назначения указана в СанПиНе 2.1.4.1116-02 [1] на бутилированную воду и составляет от 1,5 до 7 ммоль/л. Вода, 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]. Достижение и соблюдение данных требований представляет несомненную актуальность. Целью работы являлось изучение кинетики процесса удаления солей жесткости при подготовке воды хозяйственно-бытового назначения.

Положа в основу, что кинетика процесса кристаллизации (выпадение солей жесткости в осадок) проходит в две стадии: первая – образование центров (или зародышей) кристаллизации и вторая – рост зародыша. Кристаллизацию можно отнести к топохимической реакции, следовательно, процесс удаления солей жесткости можно описать уравнением Ерофеева-Аврама или Казеева-Ерофеева с поправкой Саковича [3]:

$$\alpha = 1 - e^{-k\tau^n} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень превращения вещества,  $k$  – постоянная, определяющая константу скорости реакции.

Константа скорости реакции, согласно поправке Саковича [4]:

$$K = n \cdot k^{1/n}, \quad (2)$$

где,  $n$  – порядок реакции,  $\tau$  – время контакта.

При изучении кинетики были определены закономерности протекания реакции в зависимости от изменения времени контакта, концентрации аммиака и температуры воды.

Исследование кинетики удаления солей жесткости из водопроводной воды проводилось по результатам экспериментальных данных. Зависимость влияния времени обработки воды при перемешивании 17000 об/мин мешалки в присутствии раствора аммиака концентрацией 0,072 % мас. представлена на рис. 1.

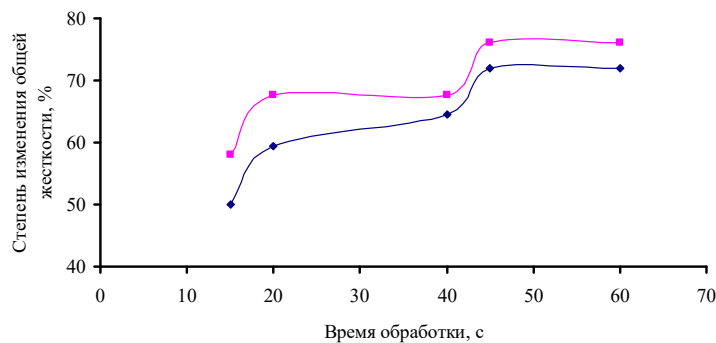


Рис. 1. Степень изменения общей жесткости от времени обработки:  
1 – температура воды 15 °C; 2 – температура воды 40 °C

По результатам представленным на рис. 1 можно сделать вывод, что хороший эффект умягчения воды наблюдается уже после 45 секунд обработки воды и составляет: 72 % для обрабатываемой воды с  $T = 15$  °C; и 76 % для обрабатываемой воды с  $T = 40$  °C.

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 истечении 7 дней после применения интенсивного перемешивания, необходимое время для перемешивания (время контакта фаз) составляет 41,1 с. При степени умягчения водопроводной воды на 72 %, после применения интенсивного перемешивания и воздействия водного раствора аммиака время контакта фаз – 43,5 с. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты кинетических расчетов при интенсивном перемешивании водопроводной воды с применением 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 термодинамических расчетов определен радиус зародыша кристалла, образованный после интенсивного перемешивания с применением водного раствора аммиака, зависящий от движущей силы процесса (окислительно-восстановительного потенциала).

$$G = V \cdot \frac{\rho}{M} \cdot (\mu_2 - \mu_1) + \sigma \cdot S, \quad (4)$$

где  $V$  – объем вещества новой фазы;  $\rho$  – плотность;  $M$  – молекулярная масса;  $\mu_1, \mu_2$  – химические потенциалы;  $\sigma$  – удельная свободная поверхностная энергия границы зародыша со средой;  $S$  – площадь поверхности зародыша.

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, $\mu$ , мВ	133
Радиус зародыша, мкм	0,89

### Выводы

Изучена кинетика процесса удаления солей жесткости при подготовке воды хозяйственно-бытового назначения.

### 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. Шечков Г.Т. Физикохимия процессов получения неорганических солей с регулируемыми свойствами//Учебное пособие, Барнаул. – 1989 г. – 81 с.
4. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств: учебное пособие – М.: Машиностроение, 1969. – 381 с.



## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КЛИМАТОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Гусак Д.В., аспирант*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,*

*634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3,*

*E-mail: vydigus@mail.ru*

Малогабаритные или компактные датчики и приборы на их основе являются удобным инструментом для оценки качества атмосферного воздуха. При воплощении сети компактных приборов, установленных на опорах/зданиях/мобильных лабораториях, они позволят оперативно реагировать на возникающее загрязнение, принимать меры по снижению возможного урона и ускорят поиск источника загрязнения в случае его сокрытия. У таких приборов должна быть универсальная основа по сбору и обработке информации, которая позволит быстро размножить подобные устройства и при необходимости в кратчайший срок сменить набор датчиков как для технического обслуживания, так и для смены перечня определяемых веществ.

Благодаря спонсорству ООО «Газпромнефть-Восток», для испытания возможностей и особенностей измерений таких приборов на базе ИМКЭС СО РАН были собраны 3 экспериментальных прибора-сигнализатора. При тесном сотрудничестве с ОГБУ «Облком-природа» приборы были установлены в г. Томске, с. Парабель и с. Каргасок, а также проведены одновременные измерения с использованием сертифицированных приборов и экспериментальных. В экспериментальных приборах использованы иностранные электрохимические ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), каталитический ( $\text{CH}_4$ ) и оптические датчики ( $\text{CO}_2$  и взвешенные частицы  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ). Измерения проводятся в Томске с декабря 2022 года, а в селах Парабель и Каргасок с мая 2023 года. Наибольший интерес представляет динамическая реакция датчиков на возникающее загрязнение.

Внешний вид экспериментальных приборов приведен на рисунке 1. Датчики прибора расположены в радиационной защите, изготовленной из белого ABS пластика и выполняют измерения 1 раз в час при непосредственном контакте со средой для понимания непосредственного воздействия на население. Аналитический центр прибора, выполняющий обработку и передачу данных, расположен во влагозащищенном корпусе и дополнительно в защитном ящике. Питание прибора осуществляется от солнечной панели.



*Рис. 1. Внешний вид экспериментального прибора*

Благодаря автономному режиму работы, прибору практически не требуется техническое обслуживание, только в случае замены комплектующих или метрологического обслуживания датчиков. Передача данных происходит один раз в 2 часа для экономии заряда аккумуляторов.

В ходе измерений был выявлен сезонный ход концентрации  $\text{NO}_2$  в городе Томске, который связан как с изменением объема газа вследствие изменения температуры, так и изменения количества автомобилей, т. е. непосредственных источников данного загрязняющего вещества. В г. Томске прибор установлен на здании ОГБУ «Облкомприрода», в районе 3,5–4 м над землей напротив автомобильной дороги. Распространению газа не препятствуют ни деревья, ни кустарники, ни столбы ЛЭП, поскольку на участке расположения прибора в радиусе 3 м их нет. На рис. 2 представлен график изменения концентрации  $\text{NO}_2$ , выраженной в единицах ПДК<sub>м.р.</sub> Пик в августе вызван работой тяжелой строительной техники во время земельных работ в конце месяца. В ходе натурных наблюдений был виден голубоватый дым, поступающий от техники во время работы.

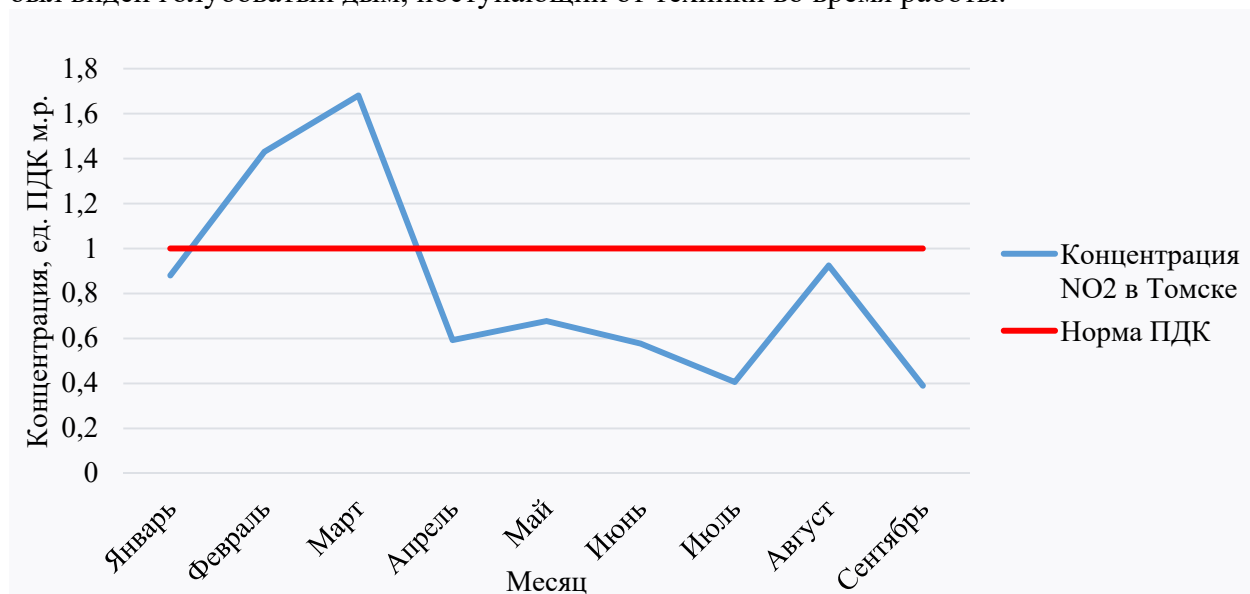


Рис. 2. Изменение концентрации  $\text{NO}_2$  в г. Томске

Для сравнения, в с. Парабель прибор изолирован от автомобильной дороги барьером, которым выступает здание Парабельского филиала ОГБПОУ «Томский политехнический техникум». Там концентрация  $\text{NO}_2$  за период измерений с мая по сентябрь не превысила 0,021 ПДК<sub>м.р.</sub>. Одним из подходов для уменьшения воздействия  $\text{NO}_2$  на жителей города является высаживание зеленых насаждений, обеспечивающих барьер между проезжей частью и тротуаром. Особенности высаживания растений в городской среде были описаны в [1].

В пожароопасный период на территории Томской области экспериментальные приборы в с. Парабель и Каргасок фиксировали резкие повышения  $\text{CO}_2$  и взвешенных частиц вследствие близлежащих пожаров. На рис. 3 приведен график изменения концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и  $\text{PM}_{10}$  07.07.2023 при пожаре рядом с селом Каргасок. На графике концентрации  $\text{CO}_2$  приведены в  $\text{мг}/\text{м}^3$ , максимум соответствует 785,4  $\text{мг}/\text{м}^3$  в шесть часов утра. Максимум взвешенных частиц соответствует полуночи и составляет 3,69 ед. ПДК<sub>м.р.</sub> и 3,3 ед. ПДК<sub>м.р.</sub> для  $\text{PM}_{2,5}$  и  $\text{PM}_{10}$ . В момент, когда концентрация  $\text{CO}_2$  достигла максимума за период измерений, концентрации взвешенных частиц спали до 1,75 и 1,55 ед. ПДК<sub>м.р.</sub> для  $\text{PM}_{2,5}$  и  $\text{PM}_{10}$  соответственно.

Сигнальные сети, построенные на подобных приборах, за счет поступающей информации обеспечат возможность оперативного реагирования на возникающие пожары или источники загрязнения, что в свою очередь снизит длительность воздействия загрязняющих веществ на население и угрозу здоровью. Такой инструмент станет дополнением к имеющимся средствам мониторинга и реагирования, подобно примеру, описанному в источнике [2].

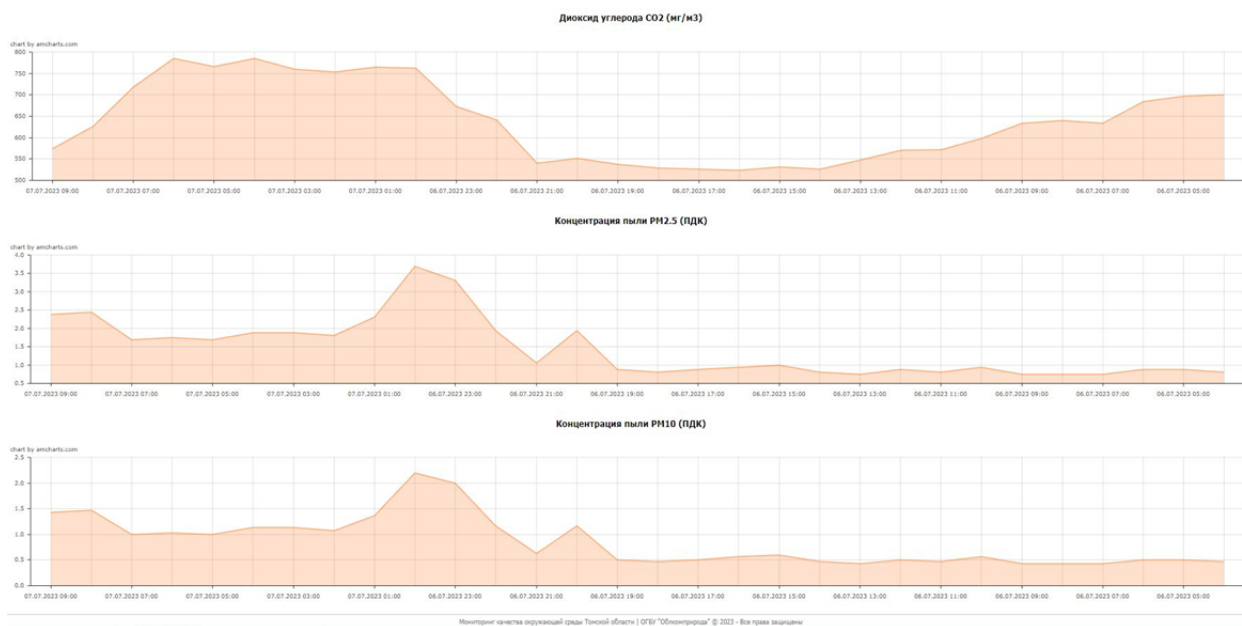


Рис. 3. Реакция прибора на пожар рядом с селом Каргасок

За период измерений в г. Томске, были случаи реакции датчика пыли на утренний туман: концентрация взвешенных частиц резко повысилась на время наличия тумана. С точки зрения принципа действия оптического датчика, он полностью выполнил свою задачу, обнаружив мельчайшие частицы воды в воздухе. С точки зрения экологии, водяные туманы не являются загрязняющим веществом. В данном случае необходима более точная настройка датчика для исключения реакции датчика на данное явление, либо сопоставление с влажностью среды и выведением поясняющего значения.

Такая настройка требует дополнительных затрат производства и может быть затруднительна в воплощении при иностранном производстве датчиков. Однако, благодаря отечественным фундаментальным исследованиям, становятся доступны новые подходы в газоанализе, позволяющие более качественно подойти к вопросу оценки концентрации газовых компонентов в воздухе и перейти на отечественные разработки. Так в Томском государственном университете были разработаны датчики [3], которые изменяют проводимость и сопротивление в зависимости от концентрации определяемого газа. Более широкие рабочие диапазоны концентрации, температуры и определяемых газов делают данную разработку достаточно перспективной в направлении импортозамещения.

### Список литературы

1. Рубцов Л.И., Лаптев А.А. Справочник по зелёному строительству. – Киев: Будивельник, 1971. – 311 с.
2. Кулакова Е.С. Получение и использование данных оперативного мониторинга атмосферного воздуха / Е.С. Кулакова, А.М. Сафаров, Л.А. Насырова, Д.С. Мизгирев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 4. С. 337–352. DOI: 10.22363/2313–2310-2019-27-4-337-352.
3. Hydrogen sensors based on In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films with bimetallic Pt/Pd catalysts on the surface and tin and dysprosium impurities in the bulk / N.K. Maksimova, T.D. Malinovskaya, V.V. Zhek, N.V. Sergeichenko [et al] // Chemosensors. 2023. Vol. 11, № 1. Art. num. 23.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗАПА

*Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,  
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,  
Сечин А.И., д.т.н., проф.,  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: chemy@tpu.ru*

На территории северных районов Томской области, подземные воды являются единственным доступным источником питьевого водоснабжения. Повышенная концентрация ионов железа ограничивает использование подземных вод. Обогащение железом происходит в результате выщелачивания и растворения железистых минералов. Также такие подземные воды отличаются повышенной цветностью и большим значением перманганатной окисляемости [1], что указывает на присутствие органических веществ гумусового происхождения. В результате содержания указанных примесей, происходит образование коллоидной системы, обладающей высокой устойчивостью к физико-химическим воздействиям, в настоящее время используемым в технологиях водоподготовки.

В процессе реализации губернаторской программы «Чистая вода Томской области» была поставлена задача определения ресурсоэффективного способа очистки высокоцветных вод с высоким содержанием коллоидных соединений в компактных установках, работающих в автоматическом режиме в условиях трудной доступности и ограниченного энергообеспечения [2, 3].

В период с 2017 по 2021 год на территории поселений Томской области было установлено 147 водоочистных комплексов (ВОК) «Гейзер-ТМ». В технологической схеме очистки воды на ВОК «Гейзер-ТМ» применена многокомпонентная комбинированная система очистки, в которую включены процессы аэрации, озонирования, коагулирования, сорбции и обеззараживания ультрафиолетовым излучением. Причём, система коагуляции была встроена в ранее существующую технологию безреагентной очистки воды, основанной на озонировании водо-воздушной смеси, поступающей в бак-реактор установки в процессе аэрации. В качестве коагулянта был применен Аква-Аурат 30 («гидроксохлорид алюминия», «полиалюминия хлорид»), который представляет собой водный раствор основных солей хлорида алюминия.

По сравнению с другими алюмосодержащими коагулянтами «Аква-Аурат 30» обладает следующими преимуществами:

- действующее вещество в пересчете на  $Al_2O_3$  почти в два раза превышает его содержание в оксихлориде алюминия и сульфате алюминия (30 % в сравнении с 7,2 %), что позволяет значительно снизить транспортные расходы;
- в процессе приготовления растворов хорошо растворяется в воде без остатка, в то время как сульфат алюминия растворяется медленно и не полностью;
- процесс взаимодействия «Аква-Аурат 30» с водой – экзотермический, что приводит к полному растворению коагулянта даже при низких температурах обрабатываемой воды;
- введение «Аква-Аурат 30» практически не изменяет pH очищаемой воды, что позволяет отказаться от использования щелочных реагентов для ее нейтрализации;
- невысокая коррозионная активность раствора «Аква-Аурат 30»;
- добавление «Аква-Аурат 30» дает низкое остаточное содержание алюминия;
- полимерная структура полиоксихлорида алюминия приводит к усилению электростатических взаимодействий между молекулами коагулянта и коллоидными частицами или растворёнными веществами.

В табл. 1 представлены результаты обработки подземных вод Александровского и Верхнекетского районов Томской области с применением коагулянта «Аква-Аурат 30».

Результаты обработки природных вод коагулянтом «Аква-Аурат 30»

Показатель	Назино		Лукашкин Яр		Новоникольское		Октябрьское		Катайга	
	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,21	0,09	9,7	0,05	5,3	0,16	3,0	0,2	10,4	< 0,05
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,21	0,03	0,15	0,09	2,0	0,05	0,14	0,1	0,15	0,09
Перманганатная окисляемость, мгО/дм <sup>3</sup>	6,0	0,909	6,2	0,82	3,4	3,5	4,5	3,5	4,6	0,80
Цветность, град.	>70	7	13	5	7	6	23	12	>70	4

Дополнение безреагентной технологии водоочистки ступенью коагуляции через дозирующее устройство полностью оправдалось. В результате подключения дозирующего насоса с водным раствором коагулянта содержание общего железа в исходной воде было снижено с уровня 9,7 мг/л до нормативных требований 0,05 мг/л. цветность >70 град. исходной воды была снижены до нормативных требований 4 град.

Безреагентные технологии водоочистки в условиях Томской области показывают высокую эффективность [4]. Но в случаях присутствия в высокоцветных подземных водах устойчивых коллоидных соединений, содержащих высокую концентрацию гуминовых веществ, ионов железа необходимо применение реагентного метода коагуляции с использованием коагулянта типа Аква-аурат.

В сравнении: безреагентные методы электрокоагуляции экономически не оправданы в связи с высокой энергозатратностью метода и стоимостью электроэнергии в удаленных районах региона.

### Список литературы

1. Коллоидно-химические свойства природных вод и особенности водоподготовки: учебное пособие / Л.Н. Шиян, К.И. Мачехина, Н.В. Пилипец, А.П. Матвеев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – 131 с.
2. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-waterquality – 4th ed.] – Женева: ВОЗ, 2017. – 121 с.
3. Волкотруб Л.П. Питьевая вода Томска. Гигиенический аспект / Л.П. Волкотруб, И.М. Егоров. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 195 с.
4. Безреагентная очистка подземных вод с повышенным содержанием железа, кремния и органических веществ / А.И. Сечин, Н.В. Пилипец, А.П. Матвеев // 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.]. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – [С. 227–228]. – Заглавие с экрана. – [Библиогр.: с. 228 (4 назв.)].

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Гительман В.С.<sup>1</sup>, Головченко С.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШИТР, 8ТМ22,

E-mail: vsg16@tpu.ru;

<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШИТР, 8ТМ22,

E-mail: ssg17@tpu.ru

На сегодняшний день в различных отраслях промышленности широко используются средства пожарной защиты, такие как огнетушители различных типов (порошковый, углекислотный, пенный и др.). Однако обеспечить полную и своевременную безопасность путём оповещения персонала и формирования мер в части пожаротушения возможно лишь посредством комбинирования классических (ручных) средств пожаротушения и систем автоматического пожаротушения (АПТ). При этом в соответствии с ГОСТ Р 59636-2021 [1] к таким системам предъявляются повышенные требования по надёжности в соответствии с техническим регламентом технического обслуживания водяных и пенных автоматических установок пожаротушения. Например, ежедневно должны выполняться такие работы, как:

- внешний осмотр гидромеханических технических средств АУП и трубопроводов на предмет отсутствия повреждений, коррозии, грязи, течи; наличие пломб и т. п.;
- внешний осмотр и регистрация показаний измерительной аппаратуры;
- контроль рабочего положения затвора запорных устройств.

В настоящей работе разработан алгоритм пожаротушения, позволяющий осуществлять проверку состояния системы пожаротушения (осуществлять анализ исправности измерительной аппаратуры и контроль положений запорной арматуры). Алгоритм разработан с использованием блок-схемы (рис. 1).

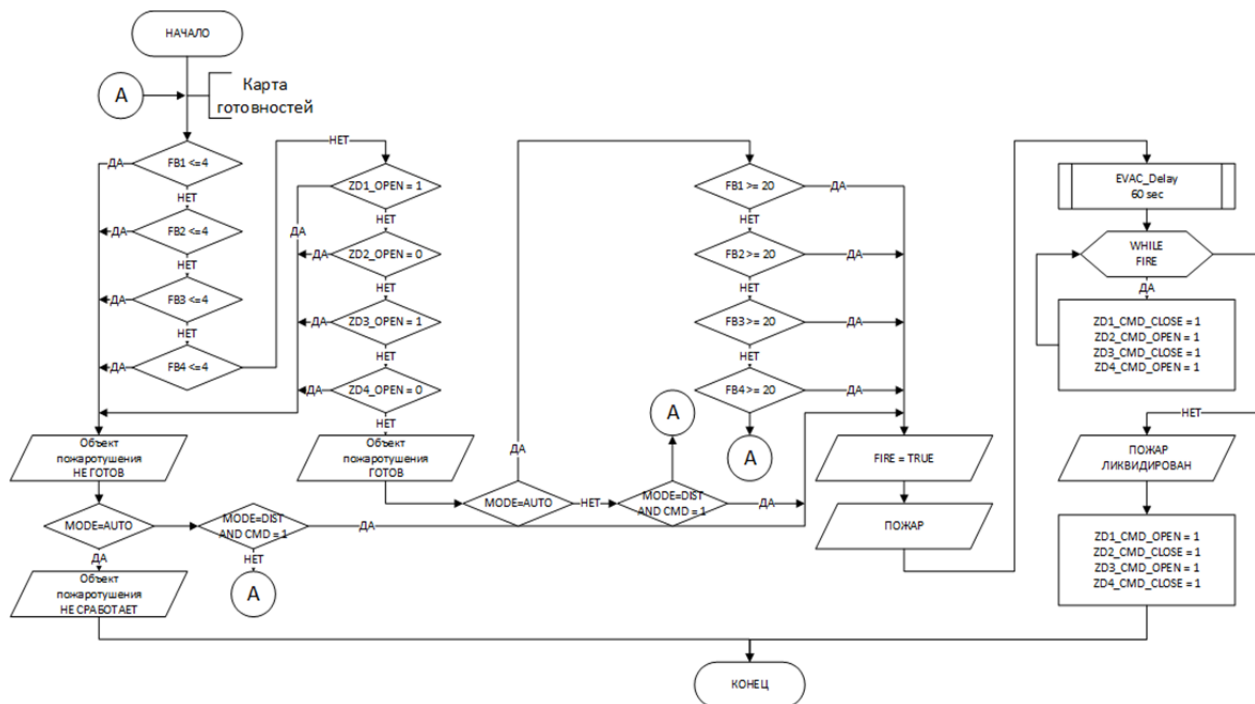


Рис. 1. Блок-схема алгоритма установки автоматического пожаротушения

В данном алгоритме производится проверка на обрыв цепи кнопок пуска пожаротушения FB. В случае, если сигнал с кнопок меньше либо равен 4 мА, это свидетельствует о недостоверности сигнала, объект пожаротушения не готов к работе если хотя бы одна из кнопок неисправна. Иначе, проверяется запорная арматура подачи воды. Если конфигурация задвижек следующая: ZD1, ZD3 открыты, а ZD2, ZD4 закрыты, то объект пожароту-

шения готов к работе. Иначе, если хотя бы одна из задвижек не находится в исходном состоянии, то система не готова к работе. Также в данном алгоритме учтено два режима управления процессом пожаротушения: ручной или автоматический. Если объект пожаротушения готов к работе, то производится проверка текущей пожарной ситуации. Если выбран автоматический режим, то происходит запуск пожаротушения в случае нажатия любой из кнопок FB1-FB4 (подается сигнал 20 мА). Если же выбран ручной режим, то запуск происходит по команде оператора. Когда система получает данные о возникновении пожара после отправки команды оператора либо нажатия кнопок на кнопочных постах, происходит оповещение персонала для эвакуации и срабатывает сигнализация. Задвижки системы пожаротушения открываются, а запорная арматура, относящаяся к производству (системе автоматического управления технологическими процессами), закрывается. Происходит пожаротушение путём подачи воды до тех пор, пока сигнал на кнопках FB1-FB4 не станет меньше 20 мА. После этого задвижки приходят в исходные состояния.

На основе блок-схемы алгоритма разработана автоматная модель, которая обладает преимуществами над блок-схемой ввиду того, что такая модель более компактно отражает принцип работы установки пожаротушения и позволяет с использованием специального программного обеспечения получить автоматически генерируемый программный код. Данный код может быть загружен в устройство управления установкой пожаротушения, например, программируемый логический контроллер (ПЛК). В связи с тем, что автоматная модель позволяет генерировать программный код автоматически (пропустить этап ручного написания кода со стороны программиста), данный подход позволяет в значительной мере снизить человеческий фактор, ускорить процесс программирования ПЛК [2] и, в целом, повысить надежность разрабатываемой системы пожаротушения.

Автоматная модель разработана в специализированном программном обеспечении MATLAB (StateFlow) в виде направленного графа. На основе разработанной автоматной модели сгенерирован программный код средствами инструмента MATLAB PLC Coder для целевой платформы среды разработки CODESYS 3.5 (язык программирования ST). Данный программный код загружен в ПЛК ЭЛСИ-ТМК [3]. Посредством данного ПЛК и эмуляции нижнего уровня произведена проверка работоспособности разработанного алгоритма.

Таким образом, разработан алгоритм автоматического пожаротушения. Алгоритм осуществляет проверку состояния системы пожаротушения, анализ исправности измерительной аппаратуры и контроль положений запорной арматуры. Предложена созданная на основе блок-схемы алгоритма автоматная модель. Осуществлена автоматическая генерация программного кода и проверка его работоспособности в режиме эмуляции. Результаты проверки показали, что алгоритм исправен и успешно функционирует.

Предложенный подход разработки алгоритмов систем пожаротушения с применением автоматных моделей позволяет снизить человеческий фактор, ускорить процесс программирования, что повышает надежность функционирования и исправности систем пожаротушения.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 59636-2021. Установки пожаротушения автоматические. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность // База ГОСТов: сайт. – URL: [https://allgosts.ru/13/220/gost\\_r\\_59636-2021](https://allgosts.ru/13/220/gost_r_59636-2021).
2. Тутов И.А. Кодогенератор графического представления детерминированного конечного автомата для систем автоматизации / И.А. Тутов, В.С. Гительман, О.Б. Воскобойникова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 474–480. – EDN ESXDMR.
3. Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК // ЭлеСи: сайт. – URL: <https://elesy.ru/products/products/plc.aspx>.



## НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТАМ НА ВЫСОТЕ

*Антоневич О.А., к.б.н., Авдеева И.И., Романцов И.И., к.т.н.*  
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*  
E-mail: antonevich@tpu.ru

С 2021 года при планировании мероприятий по охране труда риск-ориентированный подход становится основополагающим и подчеркивается важность системы управления охраной труда (СУОТ) в организации. По сравнению с ранее действовавшими правилами, теперь Минтруд РФ требует, чтобы вся деятельность проводилась в определенных рамках. При этом работодатели теперь должны провести оценку риска падения с высоты, а работы, признанные высотными, занесли в ЛНА по СУОТ.

В рамках регуляторной гильотины 2021 года среди прочих нормативных документов в области охраны труда были отменены Правила работ на высоте № 155н от 28.03.2014 года [1]. На сегодняшний день основным документом, регламентирующим порядок проведения работ на высоте, являются правила, утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ № 782н от 16.11.2020 [2], вступившие в силу 01.01.2021 года. Впервые правила по охране труда имеют срок действия 5 лет – до 31 декабря 2025 года.

В исходный документ «Правила работ на высоте № 155н» внесено порядка 46 правок, действие которых направлено на расширение полномочий работодателей в области принятия решений и повышение уровня ответственности. Все поправки возможно условно классифицировать как организационные и производственные.

По новым правилам для обеспечения безопасных высотных работ с оформлением наряда-допуска обязательно назначается ответственный руководитель работ (по п. 53). Ранее разрешалось назначить или ответственного руководителя, или производителя работ – это одна из организационных поправок. Сейчас обязательно утверждать и того, и другого. Частично их обязанности пересекаются, но для каждого прописаны отдельные полномочия. Так же происходит уточнение требований к планам производства и технологическим картам работ на высоте. Если раньше о них говорилось в приложениях, то в новой редакции приказа содержанию документов отводятся пункты 36–42. В соответствии Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ № 782н высотные работы теперь должны сопровождаться подготовкой плана производства работ (ППР), который находится непосредственно на строительной площадке. В нем указывают все особенности строительной площадки, график поставки материалов, схему движения персонала по территории, технологические карты, мероприятия по обеспечению техники безопасности, сведения о средствах защиты и страховки. Разработка ППР осуществляется работодателем, либо лицензированными организациями. Руководитель обязан назначить должностное лицо, ответственное за утверждение ППР и контроль за его выполнением. Таким же образом подробно расписано содержание плана мероприятий по эвакуации и спасению работников (по пп. 43–44).

Приказ Минтруда четко описывает, с какой высоты считается работа на высоте по новым правилам, которая проводится с оформлением наряда-допуска. Так по п. 7 новых правил к высотной относится любая деятельность с высоким риском падения; на высоте более 5 м без применения средств подмащивания; при отсутствии ограждений или при их высоте менее 1,1 м – на площадках с расстоянием менее 2 м от не огражденных перепадов высотой более 5 м. А так же, работа на нестационарных рабочих местах. Однако в ЛАН работодателя, теперь дополнительно может определяться, с какой высоты начинаются высотные работы. Так же, если меры безопасности соблюдены, применяются СИЗ, не меняется состав исполнителей, и работы носят постоянный характер, допустимо не оформлять наряд-допуск согласно п. 8.

Что касается производственных поправок, то раньше на основании п. 18 приказа № 155н запрещалось выполнять высотные работы при сильном ветре, тумане или грозе. Сейчас прописано, что в таких ситуациях оформляют наряд-допуск с уточнением соответствующих мероприятий по безопасности в отдельной таблице (п. 45 приказа № 782н).

Пункт 45 правил содержит случаи, когда выполнение высотных работ запрещено. Среди них: скорость ветра в открытых местах более 15 м/с; снижение видимости при грозе и тумане; обледенение конструкций, проводов и оборудования; при установке конструкций с большой парусностью при скорости ветра более 10 м/с.

Новые правила не запрещают проводить работы со стремянок (лестниц) с движущимися механизмами, электрическим или пневматическим инструментом. Ранее (п. 156 приказа № 155н) выполнение таких заданий запрещалось, сейчас (п. 175 приказа № 782н) это допускается, но с соблюдением системы безопасности и оформлением особых условий в наряде-допуске. Пунктом 179 уточняется периодичность испытаний лестниц.

Так же уточнения сделаны для работ с применением систем обеспечения безопасности, анкерных устройств. Установлены дополнительные требования к эксплуатации лесов и подмостей. В новых правилах появилось дополнительное требование: в месте подъема работников на леса и подмости указывать еще и места расположения анкерных линий. Угол наклона лестниц лесов должен быть не более 75 градусов к горизонтальной поверхности, а наклон трапа должен быть не более 1 к 3 согласно п.94 новых правил.

Пунктом 112 Приказа Минтруда и социальной защиты РФ № 782н введены при эксплуатации люлек дополнительные запреты. Так установлен запрет на подъем в люлке более двух человек. Также теперь нельзя соединять 2 люльки в одну, и применять бочку с водой в качестве балласта. В правилах прописан запрет на допуск к лебедкам посторонних лиц. Так же нельзя использовать люльки при ветре более 10 м/с и при плохой видимости.

Разрешили выполнять работы на высоте при неблагоприятных условиях. По новым правилам работ на высоте с 2021 года разрешено выполнять работы при неблагоприятных климатических условиях, при плохой видимости и обледенении, при монтаже конструкций с большой парусностью, которые ранее были под запретом. По причине этих изменений на все высотные работы требуется назначать ответственного руководителя работ, разрабатывать ППР, выдавать наряд-допуск и проводить целевой инструктаж каждого члена бригады, кроме этого, применять системы обеспечения безопасности работающих: ограждения, страховочные привязи или другие средства коллективной защиты, указанные в ППР.

Новые правила разграничили, кому можно присвоить 1, 2, 3 группы, и в каком случае один работник может иметь сразу несколько групп. Работнику с 3 группой, который собирается непосредственно выполнять работы на высоте, требуется присваивать дополнительно: группу 1 – для члена бригады, группу 2 – для бригадира. В отмененных правилах №155н подобного требование не было обозначено. Теперь в п. 14 новых правил есть четкое разграничение при выполнении работ на высоте: работники, непосредственно выполняющие работы на высоте с группой 1 и 2, и работники с 3 группой. В новой версии правил по охране труда сотрудники, имеющие 3 группу по безопасности работ на высоте, вправе выполнять высотную деятельность, если подтвердят свою квалификацию.

Новые ПОТ при работе на высоте в 2023 году запрещают проведение обучения безопасным методам высотных работ в заочной или дистанционной форме. Обязательным является проведение стажировки, а проверкой полученных знаний занимается специальная комиссия раз в год. Аттестационную комиссию создает непосредственно руководитель предприятия. Обучение организывает руководитель в специальных учебных центрах для следующих категорий работников: допускаемые к высотным видам деятельности впервые; переведенные с других видов труда, которые ранее не проходили необходимое обучение; не занимавшиеся видами труда на высоте более одного года. По завершении курсов проводится экзамен, при успешной аттестации работник получает допуск на ведение высотных работ.

### **Список литературы**

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 марта 2014 г. № 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте».

2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 16.11.2020 г. № 782н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте».

## ВАРИОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГА ГОРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕШЛАМОГО АМБАРА

*Сечин А.А., к.т.н., доцент*  
*Сечин А.И., д.т.н., профессор*  
*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Малоизученным является вопрос возникновения очага воспламенения на нефтешламовом амбаре, безопасность его функционирования, недостаточно рассмотрены расчеты рисков и причины возгорания [1–4]. Это и стало целью настоящей работы: построение вариологической модели возникновения очага зажигания на территории нефтешламового амбара.

Технологическим процессом при эксплуатации нефтешламового амбара является хранение, а также слив, налив отходов, содержащих нефть, вещества отработанных растворов и донные отложения резервуаров хранения нефти. В амбаре производится гидроизоляция стенок и дна, поэтому попадание нефтепродуктов возможно при:

- нарушении гидроизоляции, обрыве полиэтиленовой пленки, некачественном монтаже и спайке швов;
- переливе амбара путем переполнения отходами, сточными водами, атмосферными осадками;
- размыве обваловки амбара талыми водами в весенне-летний паводковый период;
- попадании амбара в зону наводнения.

Также, согласно исследованиям литературы, было выявлено, что нефтешлам, в особенности верхний слой, является горючим. Существует вероятность возникновения пожара и выход его за пределы очага.

Модель строилась, на основе метода графического логического описания возникновения негативного события отражающего динамику возникновения загорания амбара. За вернее событие было взято возгорание нефтешлама в амбаре, рассматривались два фактора возникновения зажигания, от открытого пламени (источника) и самовозгорание.

Значения вероятности (частоты) возникновения событий, влекущих в совокупности за собой возгорание нефтешлама в амбаре, бралась из литературных источников. При отсутствии статистических данных для некоторых событий, использовался широко распространенный в научной практике метод экспертных оценок.

Осуществив необходимый объем расчетов, была получена итоговая вероятность наступления события – возникновение источника воспламенения при эксплуатации нефтешламового амбара, она составила величину  $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Положив в основу продолжительность светового дня в Томской области в летнее время равную от 15 до 18 часов, а среднюю дневную температуру в летние месяцы от 23 до 28 °С, при максимально средних дневных температурах до 33,4 °С. [5, 6], были проведены расчёты вероятности возникновения события «Самовозгорание нефтешлама в амбаре», данные о климатических факторах брались из статистических наблюдений Томского гидрометцентра (ТГМЦ). [5]. Было установлено, что вероятность самовозгорания в год составляет  $5,7 \cdot 10^{-4}$ . Тогда итоговая вероятность возгорания нефтешлама в амбаре будет  $4,7 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ , а максимальная вероятность в самые жаркие месяцы может достигать:  $7 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

По результатам проведенного исследования, предложена структурно-методологическая схема анализа и порядок действий при решении подобной задачи. В основе предлагается пошаговое ее решение.

Использование данного подхода позволяет комплексно рассчитать риск самовозгорания на территории расположения. Данная оценка имеет вероятностный характер, при использовании предложенной схемы анализа необходимо учитывать причинно-следственные связи по логике: «условия/обстоятельства–причины–следствия».

Структурно-методологическая схема расчета самовозгорания нефтешламового амбара представлена на рис. 1.

Анализ полученных результатов и действующих нормативных материалов показывает, что при выполнении указанных требований риск сводится к минимуму. Однако отсутствуют требования для снижения риска самовозгорания в период сильной солнечной инсоляции.

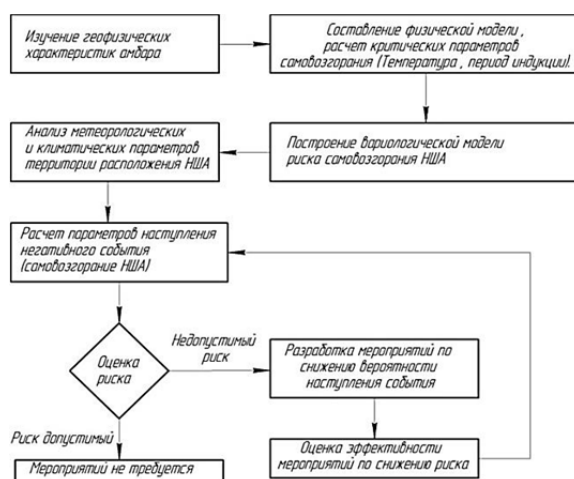


Рис. 1. Структурно-методологическая схема расчета самовозгорания нефтешламового амбара

## Выводы

На основании разработанной вариологической модели возникновения очага загорания нефтешлама в амбаре, рассмотрены параметры и критерии самовозгорания, полученные результаты показывают, что в период максимальной солнечной инсоляции и отсутствия параметров, влияющих на нагревание, вероятность самовозгорания достигает  $3,2 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ , данный результат является средним показателем и характеризуется как «возможным» событием за период эксплуатации амбара.

Предложена структурно-методологическая схема анализа процесса самовозгорания нефтешламового амбара, учитывающего геофизические параметры нефтешламового амбара и климатические характеристики территории расположения.

Эффективным мероприятием, по предупреждению самовозгорания нефтешламового амбара, может оказаться периодическая чистка его от внешних примесей. Тогда будет отсутствовать возможность развития окислительных реакций, при контакте фаз между жидким нефтешламом и примесью. Так же контакт фаз присутствует на разделе «жидкость – газообразное вещество». При этом начинается обильное испарение легких углеводородов, сопровождающееся повышением тепла. Чистка амбара позволит свести риски самовозгорания к минимуму.

## Список литературы

1. Федеральный классификационный каталог отходов / утв. приказом МПР РФ от 2 декабря 2002 г. № 786 (с изменениями, внесенными приказом МПР РФ от 03 июня 2016 г. № 311).
2. Соловьянов А.А. Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 5. – С. 30–39.
3. Критерии отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды: методическое пособие по применению / З.А. Васильченко, В.И. Ковалева, А.В. Ляшенко. – М., 2003. – 25 с.
4. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов. – М.: ВНИИПО, 2004. – 67 С.
5. Гидрометцентр России. Архив фактической погоды Томска. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.meteoinfo.ru/archive-pogoda/russia/tomsk>. Дата обращения: 25.03.2017 г.
6. Definition of time induction of self-ignition of the substance on the prognostic extrapolation depending on the basis of indicators fire and explosion hazard / Sechin A., Kurmakova O., Osipenko S. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 671. № 1. С. 012030.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

*Мезенцева И.Л., ст. преподаватель  
Сечин А.А., к.т.н., доцент  
Сечин А.И., д.т.н., профессор  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Известную актуальность занимают проблемы, сопровождающие добычу и переработку угля, представляющие собой обеспечение безопасности технологического процесса. Анализируя накопленные знания в этой области, можно прийти к следующему заключению:

- вероятность наличия источника зажигания равного 1 исключить нельзя. Иначе это было бы давно сделано;
- вероятность появления горючей смеси равного 1, так же исключить нельзя;
- следует иметь ввиду, что основные пожаровзрывоопасные характеристики углей располагаются в широком диапазоне, т. е. они не представляют тех характеристик, что исследователи привыкли наблюдать у большинства веществ;
- с другой стороны, состав смеси, участвующей в горении в первом приближении довольно несложен, но исследования горения гетерогенных систем в этой области не представлены.

Из проведенного анализа пожаровзрывоопасных свойств веществ следует [1, 2], что повышение уровня пожаровзрывобезопасности можно ожидать, изменяя состав компонентов горючей среды в составе шахтной атмосферы, либо условий, в которых она формируется. Следовательно, так как ряд известных факторов исключить нам не представляется возможным, предлагается перевести ожидаемый аварийный процесс с параметрами взрыва (со всеми его поражающими факторами), в процесс дефлаграционного горения, с условиями выживания человека находящегося в зоне его возникновения.

Из выше сказанного следует: необходимо провести комплекс исследований горения как индивидуальных составляющей шахтной атмосферы, так и ее рабочих составов. В результате проведения этих исследований можно ожидать следующие результаты:

- Сама область горения такой смеси может быть существенно уменьшена (если не исчезнет совсем), но факторы, сопровождающие процесс горения будут более щадящими, чем в первоначальном случае. Тем самым можно ожидать по составу компонентов шахтных атмосфер выход в область пламен с низкими показателями (рис. 1), которые для человека, попавшего в зону их проявления, не будут носить катастрофический характер.
- Снижение параметров проявления очага воспламенения, позволит ожидать затухания пламени, и нераспространения его по объему шахтной выработки в область присутствия пылевых осадений с параметрами, позволяющими инициировать, а затем и интенсифицировать процесс распространения аварии.

Из литературных источников известно [3], что в большинстве случаев объемы скопления метана имеют место находиться:

- У исполнительных органов комбайнов  $0,1-0,5 \text{ м}^3$ .
- В пространстве между корпусом комбайна и забоем до  $1 \text{ м}^3$ .
- На машинной дороге в очистных выработках крутых пластов могут иметь протяженность до 10 м и более, а объем до  $6 \text{ м}^3$ .
- В пространстве между корпусом комбайна и забоем, при нормальном проветривании очистных выработок, скорость скопления метана превышает  $1,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ .
- В пространстве над корпусом и машинной дороге выше, при нормальном проветривании очистных выработок, скорость скопления метана превышает  $1 \text{ м}^3/\text{мин}$ .
- При обрушении свода, объем выделяющегося метана может достигать до  $150 \text{ м}^3/\text{с}$ .

С целью повышения надежности объекта, можно провести комплекс исследований по методикам [4, 5], что позволит предложить следующие мероприятия, направленные на повышение степени безопасности рассматриваемой технологии:

- Провести секционирование объема выработки и шахты в целом, ввести тамбура безопасности, представляющие собой водяные завесы (две водяные завесы с промежутком между ними до 6 метров), в этом объеме воздух насыщен водяным паром, точнее – туманом. Фронт пламени не пройдет через такой тамбур, только ударная волна. Сам же он будет проницаем для движущихся объектов.

- Для успешного функционирования водяных завес, рекомендуется использовать воду, представляющую собой водовоздушную систему, прекрасно гасящую энергию взрыва.

В местах незначительного выделения метана, предлагается не удалять выделяемый газ на поверхность, что само по себе – опасный процесс, а окислять его на месте, в специально разработанном модуле, исключая образование и выход пламенного горения из него. Необходимо предусмотреть для ряда технологических участков только очистку воздуха от пылевой составляющей.

Водовоздушная система, предлагаемая для эффективного функционирования водяных завес, представляет собой пузырьковую водовоздушную среду, подразумевается покоящаяся или движущаяся пузырьковая водовоздушная среда, в которой газ в виде дискретных образований – пузырьков микроскопического размера содержится в непрерывной жидкой фазе. Данную среду рекомендуется использовать как прекрасно гасящую энергию взрыва.

Некоторая качественная характеристика такой среды:

- Газосодержание обычно не превышает 20–30 %.
- При уменьшении размера пузырька ниже 100 мкм его скорость всплывания уменьшается как квадрат диаметра.
- Наблюдается практически полное отсутствие процессов коалесценции в водовоздушных системах.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Необходимо разработать систему секционирования производственных объемов.

Провести секционирование наиболее опасных производственных участков с вводом тамбуров безопасности.

Внутри секций установить очистные комплексы, позволяющие очищать производственную атмосферу, снижая содержание горючего компонента в ней.

При организации тамбуров безопасности, применять водовоздушную среду, обеспечивающую непрохождение через тамбур волны взрыва.

Изучить составы шахтной атмосферы и ее возможности по снижению параметров процесса горения, до уровня, не носящего катастрофический характер для обслуживающего персонала.

### **Список литературы**

1. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Справочник. – М.: Химия. Т. 1, 2. 1990. – 880 с.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы оценка и предупреждение. М.: «Химия», 1991. – 432 с.
3. Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
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. Sechin A.A., Patrakov Yu.F., Sechin A. Experimental Range Test of Flame Spread in Dust–Air Mixtures // Journal of Mining Science, 2019, Vol. 55, No. 3, pp. 494–498 DOI: 10.1134/S106273911903582X.

**СЕКЦИЯ 7**  
**ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**



# КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АРОМАЛАМПЫ

*Буберев Г.В., студент-магистрант*

*ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»*

*E-mail: gvb7@tpu.ru;*

*Кухта М.С., профессор*

*ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»*

*E-mail: eukuh@mail.tomsknet.ru*

## **Аннотация**

Проведен поиск и анализ известных аналогов, на их основе, при учете их достоинств и недостатков, был создан прототип. В представленных вариантах описана компоновка, предпочтительный для конструкции и дизайна материал, принцип работы аромалампы. Предложено несколько окончательных версий проекта.

**Ключевые слова:** аромалампа, проектирование, концепция, дизайн, эргономика.

## **Введение**

В настоящий момент аромалампа представляет из себя прибор, состоящий из двух отделов, которые выполняются в раздельном и нераздельном виде:

1. Верхняя – полость под воду и эфирные масла;
2. Нижняя – полая зона для нагревающего элемента.

Из-за большой популярности, можно встретить большое количество аромаламп в различном исполнении в зависимости от предпочтений, разделяя их по материалу исполнения, вида лампы, размерам и т. д.

Аромалампы широко применяются в СПА-индустрии для создания благоприятной атмосферы в помещении. В домашних условиях из используют для ароматизации помещения, проведения ингаляции. При правильном использовании аромамасел можно улучшить здоровье и укрепить иммунитет, ослабить головную и мышечную боль.

## **Основная часть**

Прибор состоит из двух разъемных элементов:

Верхняя часть представляет из себя резервуар с водой и изолированную от нее трубку для вывода пара. Нижняя включает в себя полость нагрева и резервуар для парообразования.

Во время эксплуатации питание элементов будет осуществляться от сети 220 В или любого другого устройства, имеющего USB-разъем. Для большего удобства используется съемный кабель USB типа Type-C / Type-A

Для включения/выключения прибора рядом с разъемом устанавливается клавишный переключатель.

Нагревательный элемент монтируется под резервуар, нагрев производится при переходе воды из резервуара в камеру парообразования.

Рекомендуется использовать дистиллированную воду, но для большей надежности подача воды осуществляется через фильтр.

Для ускорения потока, выходящего пара, используется центробежный вентилятор, который монтируется под камеру парообразования, для его работы в камере необходим воздухоподогрев.

Необходимо установить несколько кнопочных переключателей для задачи времени эксплуатации.

После выявления достоинств и недостатков было подобрано несколько ключевых конструкторских решений:

1. Корпус аромалампы – АБС-пластик, этот материал, помимо того, что перерабатываем, обладает высокой термостойкостью, прочностью и химической стойкостью;
2. Емкость для жидкости и эфирных масел находится внутри корпуса, поэтому, для удобства эксплуатации, он должен соответствовать нормам эргономики.

После чего был разработан ряд наиболее перспективных компоновочных схем напольного и настольного исполнения аромалампы.

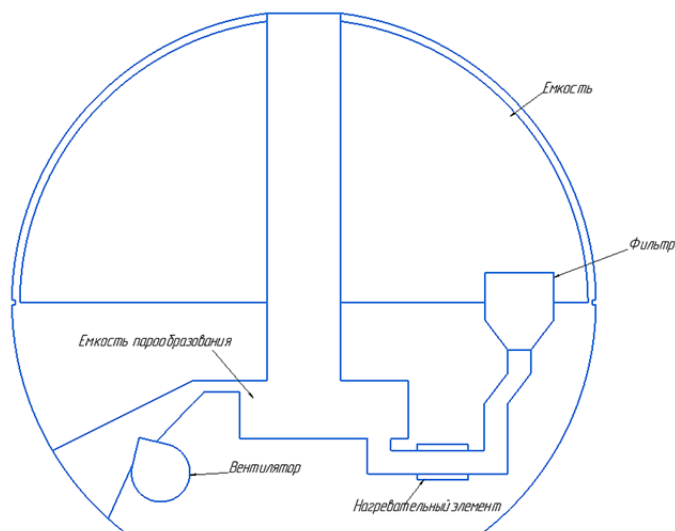


Рис. 1. Компоновочная схема напольной аромалампы

На данной схеме реализован напольный вариант, он диаметр сферы составляет 500 мм, это позволяет расположить элементы на большем расстоянии друг от друга, что уменьшает риск нагрева не предназначенных для этого элементов конструкции.

Жидкость, протекая через фильтр попадает в зону, в которой она нагревается и начинает испаряться, направляясь дальше по трубе в емкость парообразования. В зоне парообразования образовавшийся пар стремительно выталкивается потоком воздуха, созданного вентилятором, вверх и распространяется по помещению.

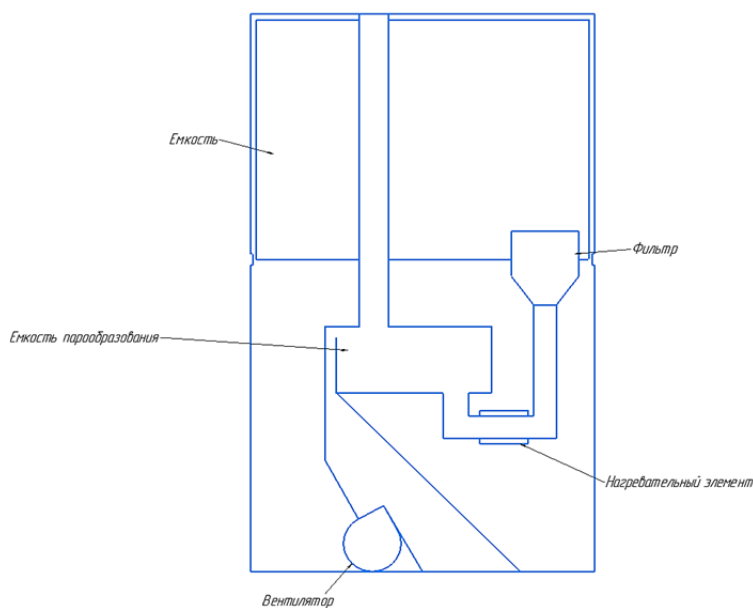
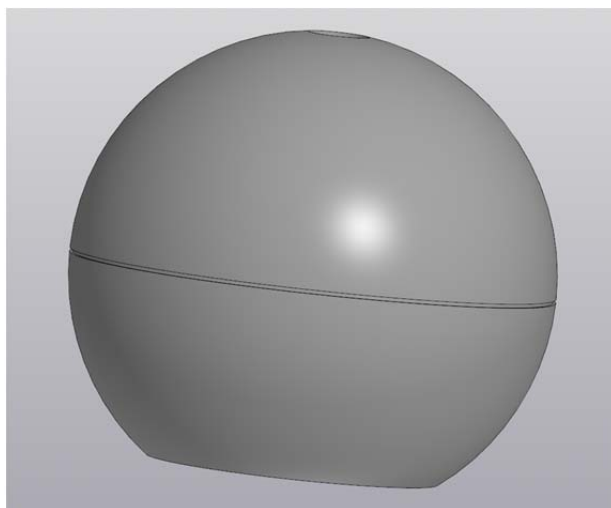


Рис. 2. Компоновочная схема настольной аромалампы

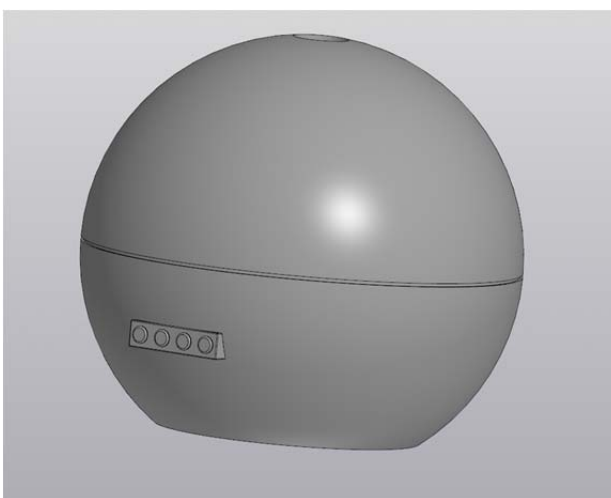
На этой схеме изображен вариант, который в диаметре равен 300 мм, это позволяет устанавливать его на любую поверхность, его малый диаметральный размер при учете большей высоты делает его менее устойчивым, чем первый вариант, но более компактным и поэтому более привлекательным для использования.

Компоновочная схема почти не отличается от первой, единственным отличием является меньший объем емкости для воды, а значит меньшее время эксплуатации.

На основании компоновочных схем был разработан промышленный дизайн электрической аромалампы обоих типов.



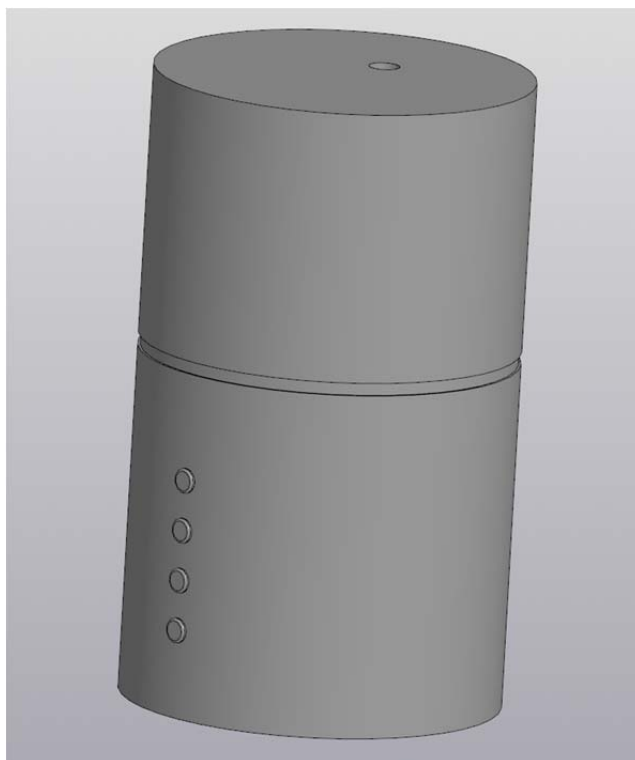
*Рис. 3. Промышленный дизайн напольной аромалампы*



*Рис. 4. Промышленный дизайн напольной аромалампы*



*Рис. 5. Промышленный дизайн настольной аромалампы*



*Рис. 6. Промышленный дизайн настольной аромалампы*

### **Заключение**

В ходе анализа преимуществ и недостатков аналогов и разбора характеристик существующей продукции, было создано несколько концептов корпуса, каждый из которых имеет свои неоспоримые плюсы в сравнении с другим.

Первая модель отличается большим размером, а значит большим объемом резервуара для воды и большей устойчивостью конструкции, она идеально подойдет для декорирования больших помещений, но будет менее удобен для частного использования, так как будет занимать слишком большую площадь.

Также второй вариант обладает меньшими габаритами, что, в свою очередь, делает его более интересным для использования в домашних условиях.

Спроектировав 2 компоновочные схемы, выявили достоинства и недостатки, устранив которые, можно получить вариант, превышающий по техническим характеристикам другие.

### **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. Кочегаров Б.Е. Промышленный дизайн: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – 297 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Есина П.А.<sup>1</sup>, Галиев А.Р., Корнев В.М.*

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*им. академика М. Ф. Решетнева*

*РФ, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31*

<sup>1</sup>E-mail: polina\_alex13@mail.ru

В последние годы разработка и использование малых космических аппаратов (МКА) стало все более популярным в космической индустрии. Эти аппараты, известные также как CubeSat или наноспутники, имеют компактный размер и небольшую массу, что делает их более доступными для запуска и эксплуатации. Однако, одной из основных проблем, с которой сталкиваются разработчики МКА, является их ориентация в космическом пространстве.

Ориентация МКА, изменение положения из неориентированного в ориентированное, является одной из важнейших задач. Для ориентации МКА используются активные и пассивные системы. К малым космическим аппаратам предъявляются жёсткие требования по массе и габаритам, поэтому использование активной системы ориентации является не целесообразным, так для ее применения необходимо наличие рабочего газа на борту космического аппарата, что увеличивает массу МКА. Пассивные методы стабилизации отличаются тем, что не требуют больших запасов дополнительной энергии на борту МКА. Ввиду малых размеров спутника влияние со стороны аэродинамических сил и солнечного давления пренебрежимо мало и не может выступать в роли системы ориентации. Оптимальным вариантом выступает гравитационная система ориентации, основанная на использовании гравитационного момента [1].

Гравитационный момент стремится сориентировать спутник таким образом, чтобы ось наименьшего момента инерции совпадала с местной вертикалью Земли, тогда ось наибольшего момента инерции будет перпендикулярна плоскости орбиты, а третья ось совпадает с направлением движения, создавая трехосную стабилизацию МКА.

Одним из ключевых преимуществ гравитационного ориентирования является его низкая стоимость и простота реализации. В отличие от других методов ориентации, гравитационное ориентирование не требует сложной технической оснастки или высокоточных инструментов. Гравитационное поле планеты или другого космического объекта является стабильным, что позволяет достичь высокой точности в определении ориентации аппарата. Более того, гравитационное ориентирование не подвержено внешним воздействиям, таким как солнечные вспышки или радиационные помехи, что делает этот способ надежным методом навигации. Гравитационное ориентирование имеет широкий спектр применения и может быть использовано для управления движением МКА, выполнения научных исследований и многих других задач.

При проектировании гравитационных систем ориентации и стабилизации необходимо решить следующие задачи. Во-первых, рассматривается задача увеличения гравитационного момента за счет крепления к корпусу спутника длинных стержней с грузами на концах. Во-вторых, решить задачу, связанную с необходимостью демпфирования собственных колебаний спутника (такими демпферами могут выступать электромагнитные катушки). В-третьих, решить задачу, связанную с нахождением устойчивого равновесного положения спутника на орбите после отделения от ракеты носителя.

Часто на МКА используется так называемая гравитационная штанга, работающая на основе принципа гравитационного баланса. Она состоит из двух масс, расположенных на концах штанги. Когда космический аппарат находится в невесомости, штанга раскачивается вокруг своей оси. Но при наличии гравитационного поля, например, при нахождении

вблизи планеты, начинает действовать сила тяжести. Сила тяжести, действующая на каждую из масс, стремится выровнять штангу и вернуть ее в равновесное положение. Если космический аппарат вращается вокруг своей оси, то гравитационная штанга будет раскачиваться, подобно маятнику. Таким образом, принцип работы гравитационной штанги МКА заключается в использовании силы тяжести для создания механизма стабилизации и контроля ориентации аппарата в космическом пространстве [2].

В конструкциях МКА используют в качестве груза или, можно сказать по-другому, гравитационного стабилизатора различные датчики, блоки электромагнитных устройств и другое. Использование штанги позволяет создать большой восстанавливающий гравитационный момент, который пропорционален квадрату расстояния между КА и грузом-стабилизатором. Если предположим, что масса основного блока космического аппарата равна массе гравитирующего стабилизатора, то под действием гравитационной и центробежной сил аппарат будет принимать вертикальное положение относительно местной вертикали Земли, поворачиваясь ближе к Земле той стороной, на которую будет большее воздействие гравитационных и центробежных сил. Если массы отличаются значительно, то под действием тех же сил к Земле поворачивается груз большей массы.

Предлагается для проектирования МКА конфигурации CubeSat размера 3U наделять его гравитационной системой ориентации и стабилизации с применением штанги, на конце которой в развернутом виде закреплен один из трех модульных кубов с полезным грузом. За счет создания разности масс на концах штанги на такой МКА действует восстанавливающий момент, стабилизирующий его в равновесное положение.

Согласно спецификации конструкции CubeSat, максимальная масса CubeSat размера 3U не должна превышать 4 кг. Предполагаемый размер ребра каждого одиночного модуля составляет 10 см [3]. Длина штанги около 5 м. Предполагается выбрать материал штанги из сплава алюминия Д16Т.

Данный космический аппарат находится на этапе разработки. Преимуществом такой конструкции выступает тот факт, что появляется возможность поместить на МКА больше полезного груза, не перегружая его различными приборами для системы ориентации и стабилизации. Однако, необходимо учесть факторы деформации штанги в процессе эксплуатации, а также механизм скрепления двух основных модульных кубов с третьим и штангой между ними.

### Список литературы

1. Сарычев В.А. Д.Е. Охоцимский и его роль в создании систем пассивной ориентации спутников // Прикладная небесная механика и управление движением. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. – 368 с. – ISBN 978-5-98354-007-1.
2. Овчинников М.Ю. Системы ориентации спутников: от Лагранжа до Королева // Саратовский образовательный журнал – 1999 – № 12.
3. Спецификация конструкции CubeSat. сайт. – 2013. – URL: <https://dernasherbrezon.com/posts/cubespec/> (дата обращения 17.08.2023).



Рис. 1. Внешний вид МКА

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТЕЗОВ КЛАПАНОВ СЕРДЦА

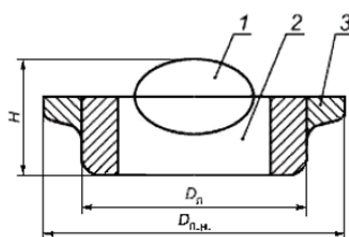
*Местеховская Л.А., студент группы 1Д01  
Соколов А.П., к.н.т., доцент  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: lam10@tpu.ru*

Для лечения пациентов с патологиями сердечных клапанов широко применяются искусственные клапаны сердца. Испытание этих протезов играет ключевую роль в обеспечении их эффективности и безопасности.

Цель исследования – совершенствование протезов клапанов сердца.

Основная задача – выявить факторы, влияющие на характеристики протезов сердца.

Протез клапана сердца (ПКС) – протезное устройство, заменяющее естественный клапан сердца [1]. Устройство протеза представлено на рис. 1, где:  $H$  – высота ПКС,  $D_{п. н.}$  – посадочный диаметр ПКС;  $D_{п. н.}$  – пришивной наружный диаметр ПКС.



*Рис. 1. Протез клапана сердца [1]:*

*1 – запирающий элемент; 2 – проходное отверстие; 3 – фланец пришивного кольца*

Протезы разделяют по типу материала: биологические и механические. Биологические протезы созданы из тканей или клеток организмов. Они обладают хорошей совместимостью с организмом и не требуют постоянного приема антикоагулянтных препаратов, не провоцируют тромбозов, однако срок их службы составляет от 8 до 10 лет. Механические ПКС изготавливают из искусственных материалов, они обладают более долгим сроком службы – более 20 лет, но требуют постоянного приема антикоагулянтов, чтобы предотвратить образование сгустков крови, а также издадут шум при работе.

Протезы классифицируют по механизму работы: шаровые, дисковые, створчатые (двухстворчатые и трёхстворчатые) (рис. 2).



*Рис. 2. Протезы клапанов сердца*

Протезы также классифицируют по месту имплантации, т. е. разделяют на протезы аортального, митрального, трикуспидального и легочного клапанов. Это отражает различные анатомические положения клапанов в сердце и требует различного подхода к их замене или ремонту, а также различные методы испытания ПКС.

Испытание искусственных клапанов сердца является неотъемлемой частью их разработки и внедрения в медицинскую практику. Тщательные лабораторные и клинические испытания не только позволяют определить эффективность и безопасность протеза, но и помогают улучшить технологию его изготовления. Только после успешного прохождения всех этапов испытания искусственного клапана может быть сертифицирован и применяться для лечения пациентов с патологиями сердечных клапанов.

Существуют следующие методы испытания протезов клапанов сердца: измерения гидродинамических характеристик в пульсовом потоке из эффективной площади проходного отверстия, испытания на стационарную утечку, на устойчивость к воздействию обрат-

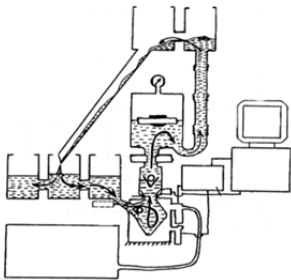


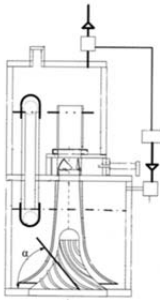
ным давлением, на устойчивость к деформированию каркаса, на долговечность, испытание механической прочности манжеты.

Для выявления тенденций и особенностей совершенствований ПКС рационально использовать патентные источники, т. к. эта литература уже хорошо систематизирована и в ней учтён опыт конструирования ПКС. Проведённый патентный поиск отражён в табл. 1.

Таблица 1

Характерные устройства для испытания искусственных клапанов сердца

Устройство	Особенности	Перспектива развития
 <p>Устройство для испытания искусственных клапанов сердца [2]</p>	<p>Мерная трубка для измерения обратного перетока испытуемого клапана, имеющая меньшую площадь гидравлического сечения по сравнению с испытательным каналом. Распределительное устройство, выполненное с возможностью перемещения из одного положения в другое для подключения пневмогидроаккумулятора через сливную воронку к мерной или напорной емкостям</p>	<p>Трансформация зажимного устройства для испытания искусственных клапанов сердца различной модификации</p>
 <p>Стенд для исследования биологических протезов клапанов сердца [3]</p>	<p>Механический желудочек соединен с пневмоприводом, пульс-дубликатором и напорной емкостью, а на выходе его последовательно установлены камера с исследуемым клапаном и гидропневмодемпфер</p>	<p>Жидкость для испытания дополняется микро-шариками частично заполненными воздухом и ферромагнетиками</p>
 <p>Насосное устройство для исследования протезов клапанов сердца [4]</p>	<p>Эластичная емкость помещена во внешний ограничительный стакан с перфорированными стенками и в ней установлен внутренний ограничительный цилиндр, причем часть цилиндра, находящаяся в эластичной емкости, выполнена перфорированной, а выступающая из нее часть выполнена конической, сопряжена с входными патрубками и снабжена сменными коннекторами для крепления клапана</p>	<p>Эластичную ёмкость заменить на емкость с цилиндрическим истенками, похожими на гофру и приводом, управляемым, по заданной программе</p>

Устройство	Особенности	Перспектива развития
 <p data-bbox="193 633 600 732">Устройство для испытания протезов аортального клапана сердца [5]</p>	<p data-bbox="646 416 1137 613">На входе в испытательный канал установлено устройство для закручивания потока испытательной жидкости. Угол наклона направляющих лопаток стержня составляет 40–60 °</p>	<p data-bbox="1182 331 1399 696">Лопатки для закручивания потока испытательной жидкости сделать с изменяемым углом наклона с возможностью управления дистанционно</p>

Анализ патентов по ПКС показал хорошее согласование с современными научно-техническими статьями. Биомеханика работы клапана сердца относится к сложным моментам при моделировании работы ПКС [6]. Контроль медицинских изделий, в том числе ПКС, в достаточной мере структурирован и регламентирован, осуществляется Росздравнадзором, создавая определённые тенденции [7].

### Выводы

1. Основные направления совершенствования протезов клапанов сердца задаются государственными стандартами.
2. Существующие механические устройства для испытания ПКС недостаточно учитывают специфику реального сердца. Представляется перспективным создание устройств, учитывающих данную особенность.
3. Результаты испытаний могут отличаться от результатов работы, полученных в реальном сердце, поэтому рекомендуется приблизить устройство испытания протезов клапанов к имитатору сердца.

### Список литературы

1. ГОСТ 31618.1-2012. Протезы клапанов сердца. Часть 1. Общие технические требования и методы испытаний.
2. Патент № 2336053. Российская федерация, МПК А61F 2/24 (2006.01). Устройство для испытания искусственных клапанов сердца / Н.Ф. Петухов, В.В. Юнко, В.А. Шишов; опубл. 22.01.2007. Бюл. № 29.
3. Патент № 32387. Российская федерация, МПК А61F 2/24 (2006.01). Стенд для исследования биологических протезов клапанов сердца / Л.С. Барбараш, И.А. Климов, И.Ю. Журавлева, В.В. Борисов, Н.П. Алешкевич; опубл. 20.09.2003. Бюл. № 26.
4. Патент № 23766. Российская федерация, МПК А61М 1/10 (2000.01). Насосное устройство для исследований протезов сердечных клапанов / И.А. Климов, В.В. Борисов, И.Ю. Журавлева, Л.С. Барбараш; опубл. 20.07.2002. Бюл. № 20.
5. Патент № 152630. Российская федерация, МПК А61F 2/00 (2006.01). Устройство для испытания протезов аортального клапана сердца / Л.А. Бокерия, А.В. Агафонов, Г.И. Кикнадзе, В.О. Кузнецов, А.Ю. Городков; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 16.
6. Клышников К.Ю., Онищенко П.С., Овчаренко Е.А. Исследование биомеханики створчатого аппарата протеза клапана сердца методом моделирования / Клышников К.Ю. // Современные технологии в медицине – 2022. – № 14–2. – С. 6–15.
7. Махова О.А., Применение медицинских изделий: обязательные требования, контроль за их соблюдением / Махова О.А. // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология – 2021. – № 14–4. – С. 515–522.

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН СИСТЕМЫ АВТОПОЛИВА КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ

Курпиев М.А., студент-магистрант гр. 4НМ21

Кухта М.С., д.ф.н., профессор

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

E-mail: mak72@tpu.ru

В настоящее время остро стоит проблема эмоциональной составляющей человека. В связи с событиями, которые происходят в мире, человеку необходим комфорт в месте его пребывания. Наиболее перспективными средствами уменьшения тревожности, создания положительного эмоционального фона у человека, уюта и комфорта, специалисты признают комнатные растения.

Из этого исходит следующая проблема, где размещать растения? Наиболее стандартным ответом будет цветочная ваза. Но, как и говорилось ранее, человек загружен и по этой причине забывчив, в следствии чего многие растения не получают должного ухода и заботы. Для этого предлагается создать систему автоматического полива комнатных растений.

Система автоматического полива представляет собой ёмкость с резервуаром под жидкость, которая путем использования измерительных средств считывает информацию, передавая её в головное устройство управления и дозируя количество воды, которое необходимо растению.

Проведя анализ имеющихся устройств, был выявлен ряд достоинств и недостатков, устраняя и учитывая, которые предлагается:

- материал корпуса – переработанный пластик. Основное достоинство использования данного материала, сохранность природы. Недостатков в качестве применения в качестве вазы – нет.
- необходим индикатор количества жидкости, либо физический, который будет показывать уровень жидкости за счет создания давления, либо датчик, который будет передавать информацию о количестве жидкости на управляющее устройство, а оно в свою очередь будет сообщать пользователю сигналом, когда стоит пополнить бак;
- заливная горловина должна не выделяется из общей конструкции, но при этом была проста в нахождении и использовании;
- следует предусмотреть возможность фильтрации неиспользованной жидкости, либо применяя фильтры, или путем обратного осмоса;
- корпус должен соответствовать нормам эргономики, поэтому необходимо учитывать выемки и расположение элементов, для удобства пользования согласно функциональным характеристикам изделия;
- возможно введение системы автоматического полива в устройство «умного дома» путем создания приложения на мобильное устройство;

На основании достоинств и недостатков выявили наиболее перспективные компоновочные схемы, вертикального (рис. 1) и горизонтального (рис. 2) исполнения.

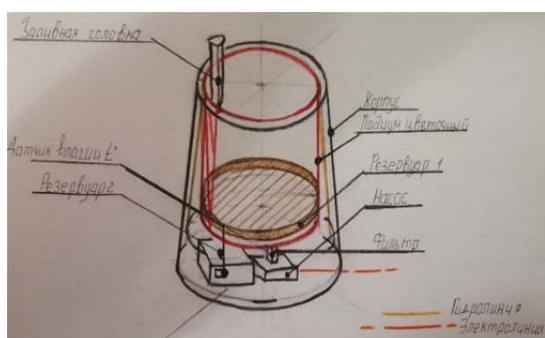


Рис. 1. Вертикальное исполнение  
компоновочной схемы

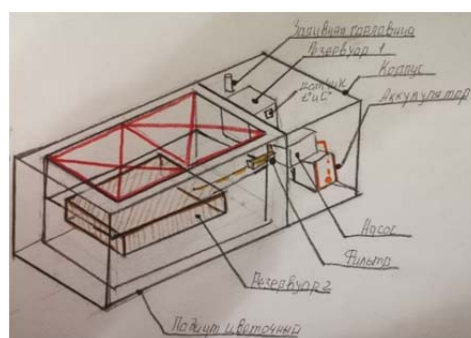


Рис. 2. Горизонтальное исполнение  
компоновочной схемы

Согласно рис. 1, жидкость, попадая в резервуар 2 через заливную горловину, перекачивается насосом в резервуар 1, проходя через фильтрующий элемент. Резервуар 1 является питающим элементом для растения, которое находится в своеобразном подиуме-корзине. Растение, находясь в корзине опускает корни в питающий резервуар. В резервуаре 2 находится датчик влаги и температуры, при опустошении резервуара, датчик передает информацию на управляющую панель, сигнализируя пользователю о том, что необходимо пополнить резервуар 2. Корпус выполнен из переработанного пластика. Питание насоса осуществляется от сети 220 В.

Горизонтальное исполнение компоновочной схемы (рис. 2), в отличие от вертикальной, позволяет разместить большее количество растений, помимо этого система автополива работает от аккумулятора, что позволяет использовать его в местах, где нет возможности подключиться к сети 220 В, но у такой системы есть недостаток, когда аккумулятор разрядится и не будет возможности проконтролировать количество жидкости в резервуаре.

На основании компоновочных схем был разработан промышленный дизайн системы автоматического полива растений (рис. 3).



*Рис. 3. Промышленный дизайн системы автополива*

В процессе разработки проекта, проведён анализ систем автоматического полива растений, изучена литература и методы исследования раскрывающие особенности подходов к теме, построен промышленный дизайн модели. На основе анализа аналогов сформулированы требования к конструкции и дизайну станка. А также эстетические, эргономические и технологические требования. Найдены варианты цветографического исполнения, которые разнообразят продукцию и расширяют возможность её выбора.

### **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: 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. Курушин В.Д. Промышленный дизайн. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 560 с.: ил.

## РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОРМУШЕК ДЛЯ ПИТОМЦЕВ

*Зайцева Е.М.<sup>1</sup>, научный руководитель Кухта М.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ТПУ, ОАР ИШИТР гр. 8Д01,*

E-mail: emz3@tpu.ru;

<sup>2</sup>*ТПУ, профессор ОАР,*

E-mail: kuhta@tpu.ru

Актуальность разработки дизайна автоматической кормушки для животных с дополнительными функциями обусловлена растущим спросом на удобные и функциональные устройства для ухода за домашними питомцами. Современный образ жизни часто не позволяет хозяевам уделять достаточно времени своим питомцам, в том числе и отслеживать правильность питания. Автоматические кормушки для собак уже существуют на рынке, однако они могут быть усовершенствованы путем добавления дополнительных функций, таких как контроль за количеством потребляемой пищи, возможность удаленного управления и так далее. Данные функции позволяют сделать легче и лучше жизнь не только домашних питомцев, но и их хозяев.

Принцип работы автоматических кормушек для собак заключается в том, что они автоматически выдают определенное количество пищи в заданное время. Обычно это происходит благодаря таймеру или программе, которую можно настроить на определенное время и количество корма [1].

Некоторые модели автоматических кормушек для собак оснащены датчиками, которые контролируют количество потребляемой пищи и предотвращают переедание животным. Кроме того, некоторые кормушки могут иметь функцию удаленного управления, которая позволяет хозяину контролировать кормление своего питомца из любой точки мира через мобильное приложение [2].

Таблица 1

*Анализ аналогов автоматических кормушек*

Название модели	Количество приемов пищи в день	Максимальный объем корма в миске	Вместимость контейнера	Настройка времени подачи и объема корма	Мобильное приложение	Встроенная камера и динамик
Healthy Pet Simply Feed	12	30 мл – 950 мл	1,25 кг	Да	Нет	Нет
Cat Mate C500 Automatic Feeder	5	10 гр – 300 гр	1,25 кг	Да	Нет	Нет
Arf Pets Automatic Pet Feeder	4	10 гр – 400 гр	1,14 кг	Да	Да	Динамик
Smart Feed Automatic Dog and Cat Feeder	12	30 мл – 950 мл	2,7 кг	Да	Нет	Нет
WESTLINK 6L Automatic Pet Feeder	4	10 гр – 390 гр	6 л	Да	Нет	Динамик
Xiaomi Smart Pet Food Feeder	4	10 гр – 50 гр	4,3 л	Да	Да	Нет
Kitfort КТ-2081	4	10 гр – 100 гр	4,3 л	Да	Да	Да

Для успешной разработки новой дизайн-концепции автоматической кормушки необходимо было в первую очередь проанализировать аналоги кормушек (табл. 1).

Какие функции можно добавить в умную кормушку для животных, чтобы сделать ее наиболее эффективной в применении и в использовании?

1. Автоматическое взвешивание порции корма для контроля питания животного.
2. Встроенный датчик уровня корма, который будет отправлять уведомление в приложении, когда уровень опускается до определенного уровня.
3. Встроенная камера, которая позволит владельцу наблюдать за животным в режиме реального времени и получать уведомления о том, что животное ест, а также микрофон, через который можно воспроизводить заранее записанные команды.
4. Подключение к смартфону, чтобы владелец мог контролировать кормление и настройки кормушки из любого места.
5. Различные настройки порций для разных размеров животных и для разных типов корма.
6. Интеграция с приложениями для отслеживания здоровья животных, чтобы владелец мог контролировать питание и вес своего питомца.
7. Возможность добавления лекарственных добавок в корм, если животное нуждается в них.
8. Встроенный датчик движения, который будет автоматически закрывать крышку кормушки, если животное не ест в течение определенного времени, чтобы предотвратить переедание.
9. Резервная батарея пригодится на случай отсутствия электропитания, благодаря этому миска всегда будет наполнена вовремя (функция имеется в аналоге Arf Pets Automatic Pet Feeder [3]).
10. Запирающийся бак – магнитная крышка гарантирует, что у питомца будет доступ только к той пище, которая подается в миску (функция имеется в аналоге Arf Pets Automatic Pet Feeder).
11. Должна быть предусмотрена возможность мыть элементы кормушки в посудомоечной машине: крышку, бак для корма, миску. Миска может быть сделана из нержавеющей стали, остальные элементы могут быть изготовлены из пластика, устойчивого к высокой температуре, и нержавеющей стали (данными параметрами обладает аналог PetSafe Smart Feed Automatic Dog and Cat Feeder [4]).
12. Силиконовое уплотнительное кольцо на крышке для предотвращения засыхания и заветривания корма, заменяемые картриджи с осушителем в отделении для корма, скрытая вращающаяся дверца устройства кормления, чтобы корм не застревал по пути в миску (функция имеется в аналоге Xiaomi Smart Pet Food Feeder [5]).
13. Возможность поднятия миски с кормом на определенную высоту для удобства средних и крупных пород собак.

Ни одна из существующих автоматических кормушек не подходит в полной мере для крупных пород собак, для которых миска с кормом должна находиться выше уровня пола для удобства питомца. В таком случае используются миски на штативе. Такие миски используются и при заболеваниях позвоночника или при патологиях пищевода, а также если у питомца длинная шерсть. Рекомендуется закреплять миску на уровне локтевого сустава питомца [6].

Помимо функциональных особенностей, колористические решения товаров для животных имеют собственную специфику. В первую очередь из-за того, что цветовой спектр зрения собак и кошек отличается от человеческого в нескольких аспектах. Они видят мир не так ярко и контрастно, как люди. Их глаза содержат меньше конусов, которые отвечают за цветовое зрение, поэтому они видят мир в оттенках серого, синего и желтого (рис. 1) [7].



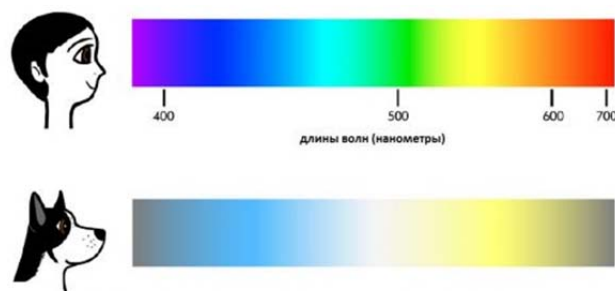


Рис. 1. Отличие в восприятии цвета людей и собак

Это означает, что именно эти цвета стоит использовать как при оформлении корпуса автоматической кормушки, так и на элементах, к которым нужно будет привлечь внимание собаки.

Отталкиваясь от полученной информации, была разработана общая схема строения (рис. 2), а также две концепции дизайна автоматической кормушки для питомцев.

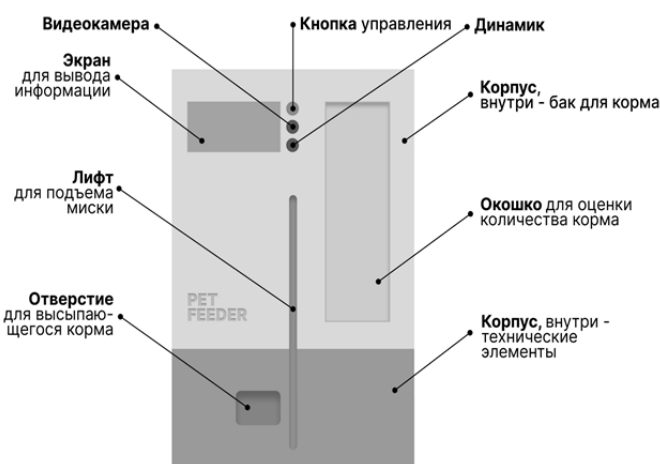


Рис. 2. Схема строения автоматической кормушки

Концепция номер 1 получила рабочее название «SnackStation». Отличительными чертами данной концепции являются единый силуэт, сенсорный экран, простая геометричная форма, углы скошены и слегка закруглены, окошко находится в передней части (рис. 3).

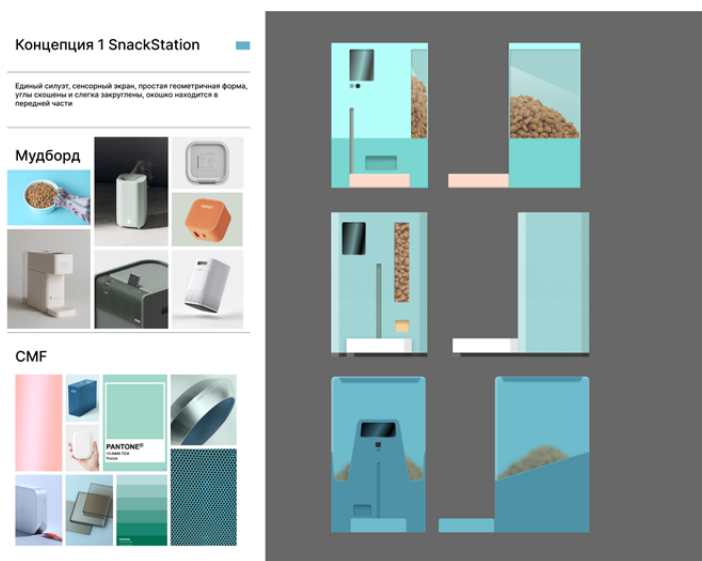


Рис. 3. Концепция SnackStation

Концепция номер 2 получила рабочее название «Лакомка». Отличительными чертами второй концепции являются разделенный силуэт, механическое управление (кнопки), округлая геометричная форма, небольшое окошко для оценки количества корма (рис. 4).



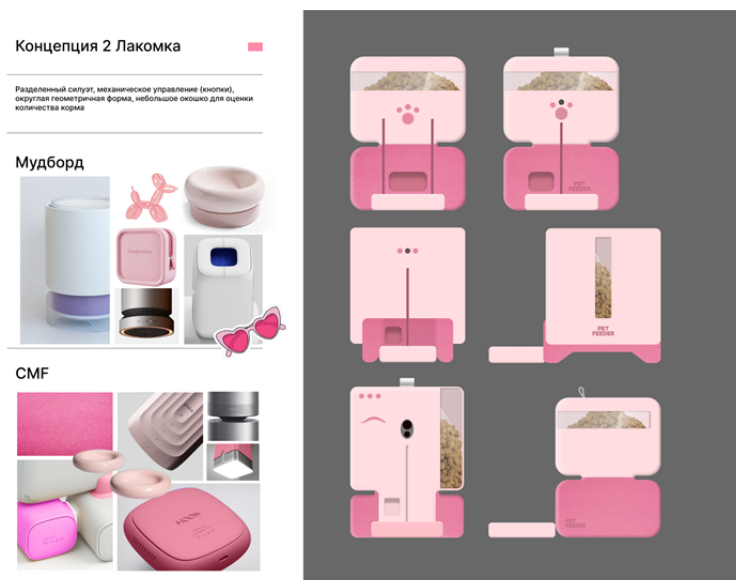


Рис. 4. Концепция Лакомка

Таким образом, разработка нового дизайна автоматической кормушки для животных позволит улучшить условия содержания животных и обеспечить им правильное питание. Перенимая полезные функции аналогов и привнося свои нововведения, можно создавать более удобные, функциональные и эффективные кормушки, которые будут способствовать поддержанию здоровья и благополучия животных.

### Список литературы

1. Автоматическая кормушка для кошек с дозатором // PetStory сайт. – 2022. – URL: <https://petstory.ru/knowledge/cats/cat-care/avtomaticheskaya-kormushka-dlya-koshek-s-taymerom/>.
2. Автоматические кормушки для кошек и собак: характеристики, устройство, обзор // сайт. – 2022. – URL: <https://superarch.ru/tekhnika/avtomaticheskie-kormushki-dlya-koshek-i-sobak>.
3. Arf Pets Обзор автоматических кормушек для животных // Gadgetshelp.com Новости о мире IT, Интернет и гаджетах сайт. – 2018. – URL: <https://gadgetshelp.com/drugoe/arf-pets-obzor-avtomaticheskikh-kormushek-dlia-zhivotnykh/>.
4. PetSafe Smart Feed Automatic Pet Feeder Is Worth the Price // The Spruce Pets сайт. – 2020. – URL: <https://www.thesprucepets.com/petsafe-smart-feed-review-5073096>.
5. Xiaomi Smart Pet Food Feeder // Xiaomi Россия сайт. – 2022. – URL: <https://www.mi.com/ru/product/xiaomi-smart-pet-food-feeder/>.
6. Миски на штативе: а есть ли реальная польза? // Хвост-нюс. Pet- сайт. – 2022. – URL: <https://hvorst.news/animals/dogs-feeding/miski-na-shtative-a-est-li-realnaya-polza/>.
7. Ветеринарный офтальмолог о зрении животных // Центр Ветеринарной Офтальмологии сайт. – 2022. – URL: <https://eyevet.ru/stoit-znat/vse-o-zrenii-zhivotnyh/>.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМУ СИМВОЛОВ МОДЕРНА

*Сазонова Е.М., студент гр. 1Г21*

*Научный руководитель: Соколов А.П., к.т.н., доц.*

*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: ems25@tpu.ru*

Аннотация. В данной работе выявлена зависимость формы символов от материалов и технологий производства. Показано, что под влиянием новых технологий символы модерна теряют свою первоначальную форму. Модерн превращается в неомодерн.

Ключевые слова: символы, модерн, интерьер, технология реализации, трансформация.

Цель исследования – научиться более эффективно использовать символы модерна для реализации предметов интерьера в этом стиле.

Тенденцией времени является использование элементов ушедших стилей для получения большей художественной выразительности интерьера. Часто упор делается на использование символов модерна. Однако, изменение технологий (использование механизации и автоматизации производства) затрудняет прямое заимствование форм ушедших стилей. Процесс изменения формы символа под влиянием новых технологий исследован недостаточно. Для основы исследования выберем стиль модерн, так как этот стиль наиболее выразителен с точки зрения своих символов. В результате этого можно указать пути более эффективного использования символов модерна для оформления интерьера в этом стиле.

В данном исследовании символ модерна – это знак, наличие которого облегчает ассоциацию интерьера или его элемента со стилем модерна.

Модерн, или ар-нуво – интернациональное художественное движение на рубеже XIX-XX веков, представители которого ставили целью создание нового художественного языка искусства. Стиль модерн возник как протест против строгости стиля ампира. Произведения модернистов объединяют ряд общих черт – извилистые плавные линии, орнаментальность, плоскостное изображение (в изобразительном искусстве).

Представители модерна использовали новые технико-конструктивные средства, свободную планировку, своеобразный архитектурный декор для создания индивидуализированных зданий, все элементы которого подчинялись единому орнаментальному ритму.

Основные черты современного направления модерн сохранились с конца XIX века:

- натуральные материалы с очевидным преобладанием дерева;
- плавность линий, все формы должны быть изогнутыми, плавными – по аналогии с растительным миром;
- флора – основной мотив; популярные темы – стилизованные изображения лилий, стеблей и лепестков, стрекоз и бабочек;
- цветовая гамма сдержанная, в природных тонах;
- нет строгих архитектурных канонов.

Тем не менее, в современной эпохе технического прогресса символы модерна претерпевают значительные изменения за счет появления новых технологий и материалов.

С развитием технологий, возможности воплощения символов модерна в интерьере становятся все более разнообразными. Современные инновации позволяют создавать более сложные и оригинальные формы. Они помогают воплощать в реальность любую идею, будь то необычный формат окон или скульптурная лестница. Модерн диктует уникальность за счет ввода элементов бионики (растений, плавных узоров и т. п.).

Трансформация символов модерна отражена в табл. 1. Можно рассмотреть эту трансформацию, сравнив один из наиболее распространенных символов модерна – лира. На рис. 1 и рис. 2 можно увидеть, что внешний вид символа сильно меняется в зависимости от материала [1]. Изделие из дерева выглядит мягко, как нельзя лучше отражает стилистику направления. В то время как кованое изделие более долговечно и просто в изготовлении, подчеркивает сдержанность интерьера.

В табл. 1 наглядно видно, как именно трансформируются символы как в комплексе интерьера, так и изолированно:

Таблица 1

*Трансформация символов в зависимости от технологии реализации*

Модерн	Неомодерн	Комментарии
 <p data-bbox="233 640 564 674"><i>Рис. 1. Дверной проём [2]</i></p>	 <p data-bbox="647 640 1074 674"><i>Рис. 2. Ограждение лестницы [1]</i></p>	<p data-bbox="1106 349 1404 416">Трансформация символа – лира.</p> <p data-bbox="1126 421 1404 680">Изменение эстетики: дерево обычно ассоциируется с натуральностью и органичностью. Сварка, добавляет ощущение промышленной основательности</p>
 <p data-bbox="201 931 595 965"><i>Рис. 3. Лестничные перила [3]</i></p>	 <p data-bbox="659 969 1062 1099"><i>Рис. 4. Подцветочник как разграничитель пространства, созданный с помощью 3D-принтера [2]</i></p>	<p data-bbox="1126 831 1393 965">Несмотря на разность материалов, формы и смысл остаются прежними</p>
 <p data-bbox="185 1395 611 1429"><i>Рис. 5. Люстра Эктора Гимара [1]</i></p>	 <p data-bbox="711 1395 1010 1429"><i>Рис. 6. Светильник [4]</i></p>	<p data-bbox="1126 1155 1404 1391">Наглядная демонстрация того, что современные технологии позволяют создавать более сложные и интересные формы</p>
 <p data-bbox="256 1671 539 1738"><i>Рис. 7. Символ солнца (зеркало) [1]</i></p>	 <p data-bbox="655 1671 1074 1738"><i>Рис.8. Символ солнца (зеркало) – современное исполнение [2]</i></p>	<p data-bbox="1106 1514 1404 1682">Символ солнца пришел к упрощению. Смысл остается прежним, технология и сложность работы сильно меняется</p>
 <p data-bbox="252 2007 539 2074"><i>Рис. 9. Символ цветка (букета) [5]</i></p>	 <p data-bbox="687 1995 1038 2029"><i>Рис. 10. Цветок лотоса [4]</i></p>	<p data-bbox="1126 1798 1404 2029">Символ – цветок. Количество мелких деталей уменьшилось, форма бутона изменена для упрощения его машинного изготовления</p>

Модерн	Неомодерн	Комментарии
 <p data-bbox="220 566 568 633"><i>Рис. 11. Красный цикламен Германа Обриста [2]</i></p>	 <p data-bbox="727 651 991 685"><i>Рис. 12. Витраж [5]</i></p>	<p data-bbox="1110 383 1414 577">Символ «удар бича» трансформировался. Хотя сам символ почти не изменился, но форма витража придает ему конструктивизма</p>
 <p data-bbox="220 1126 568 1193"><i>Рис. 13. Люстра в особняке Рябушинского [3]</i></p>	 <p data-bbox="708 1149 1011 1182"><i>Рис. 14. Светильник [5]</i></p>	<p data-bbox="1110 857 1414 1052">Главное отличие – материалы. Светильник в стиле неомодерн выглядит «воздушнее» за счет работы со стеклом</p>

Символы модерна в интерьере не только отражают прогресс и эстетику, но также помогают создать уютную и комфортную атмосферу. Интеграция технологических решений в интерьер позволяет создавать функциональные пространства, которые приятны глазу.

Хотелось бы отметить, что современные технологии позволяют использовать 3D-принтеры для создания индивидуальных дизайнов – рис. 4, используя те же символы, которые применялись более 100 лет назад. Однако, изделия такого формата по большей части относятся к неомодерну.

Эталонем зданий, воплощенных в стиле модерн является особняк Рябушинского [3]. Этот резиденциальный объект отражает характерные черты той эпохи в интерьерном оформлении, ставя в центр внимания сочетание искусства, роскоши и функциональности.

Изменение технологий затрудняет прямое заимствование форм ушедшего стиля модерна. Символы модерна трансформируются под совершенствующиеся технологии [6]. Использование механизации и автоматизации производства часто приводят к упрощению форм символов. В этом случае можно говорить о своеобразной технологической стилизации, под которой понимается трансформация формы объекта для более простого его изготовления с помощью конкретной технологии. В этом случае модерн превращается в неомодерн.

Появившиеся технологии 3D-печати позволяют точно воспроизводить символы модерна, но ограничены в выборе материала. В частности, древесину в настоящее время трудно вписать в технологии 3D-печати.

## **Выводы**

1. Использование инновационных технологий дает возможность достичь оригинальности изделия наиболее быстрым способом.
2. Механизация и роботизация позволяют достичь максимум художественного эффекта с минимумом затрат. Однако, это часто приводят к упрощению форм символов модерна.
3. Более эффективно использовать символы модерна для реализации предметов интерьера можно с помощью 3D-печати.

## **Список литературы**

1. Модерн – прорыв или всего лишь переходный период // Very important lot: сайт. – 2015. – URL: <https://veryimportantlot.com/ru/news/blog/modern-stil-v-zhivopisi>.
2. Стиль модерн в интерьере: 50 фото примеров, особенности и характеристики // IDV: сайт. – 2018. – URL: <https://www.ivd.ru/dizajn-i-dekor/stili-interiera/stil-modern-v-interere-osobennosti-i-idei-dizajna-dlya-raznyh-komnat-80682>.
3. Особняк Рябушинского Шехтель интерьер 97 фото // Капитон мебель: сайт. – 2013. – URL: <https://capiton-mebel.ru/detskaya/osobnyak-ryabushinskogo-shehtel-interer-97-foto.html>.
4. Модерн в интерьере в 20 – фото // Мебельный гуру: сайт. – 2017. – URL: <https://mebel-gu.ru/podborki/modern-v-interere-v-20.html>.
5. 3D printed green wall comes // Pinterest: сайт. – 2019 – URL: <https://ru.pinterest.com/pin/374572894006930115>.
6. Соколов А.П. Трансформация символов модерна под воздействием технологии их реализации // Труды Академии технической эстетики и дизайна, 2013. – № 1. – С. 33–37.



# КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ФРЕЗЕРОВЩИКА

Медведева Е.Н.

Студент-магистрант

ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»

E-mail: enm11@tpu.ru;

Кухта М.С.

Профессор

ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»

E-mail: eukuh@mail.tomsknet.ru

## Аннотация

Проведен поиск и анализ достоинств и недостатков известных аналогов, предложена компоновка изделия, описан принцип работы. Рассмотрены и выбраны более подходящие материалы. Предложена окончательная модель изделия.

**Ключевые слова:** тренажер, машиностроение, конструирование, концепция, дизайн, эргономика.

## Введение

В настоящее время для подготовки высококвалифицированных кадров актуально использование обучающих тренажеров – комплексов моделирования и симуляции технологических процессов при фрезерной обработке детали, формирования у обучающегося профессиональных навыков и совершенствования техники управления станком в сложных ситуациях, понимания сущности протекающих процессов и их взаимную зависимость.

Промышленный дизайн играет большую роль для любого изделия. Не остается в стороне и разработка дизайна тренажеров для обучения фрезеровщиков. Целью является создание эстетичного и современного рабочего пространства для обучаемого.

## Основная часть

Тренажер представляет собой полномасштабную модель станка с ЧПУ, демонстрирующую проведение полного цикла операций для изготовления виртуальной детали любой сложности. Интерфейс и внешние характеристики, такие как размер, цвет, расположение управления и т. д., максимально приближены к реальному станку с ЧПУ. Холостой ход, процессы настройки станка и изготовления детали и других операций происходит виртуально и отображается в реальном времени на экране визуализации.

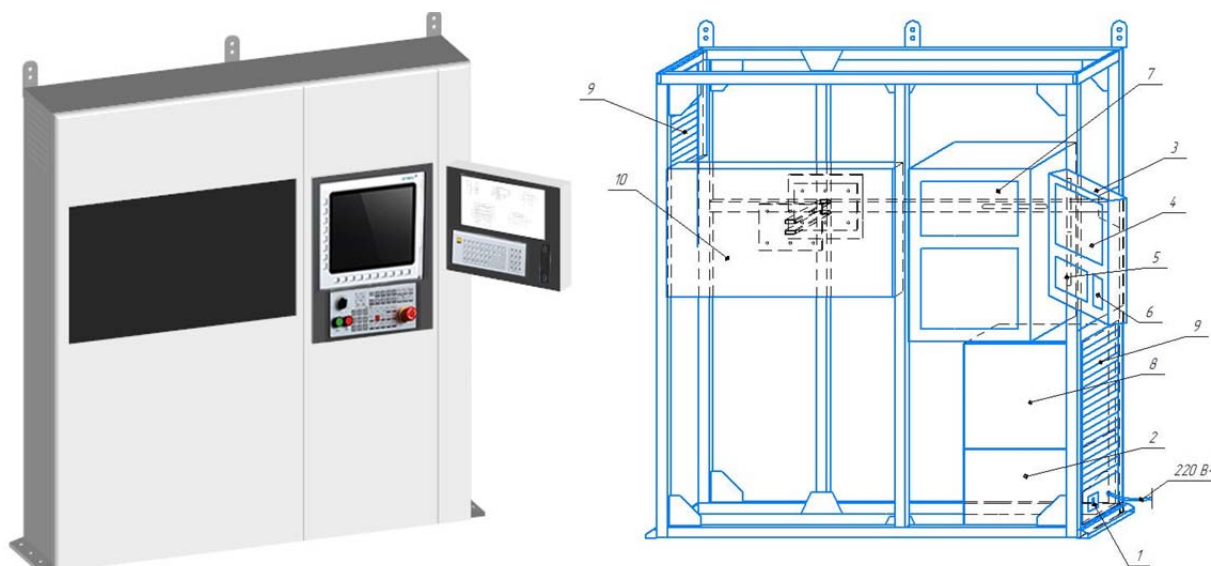


Рис. 1. Тренажер для обучения фрезеровщика: а) компоновочная схема; б) промышленный дизайн

После изучения конструкции типового фрезерного станка с ЧПУ, а также рассмотрения и анализа достоинств и недостатков аналогов тренажеров были определены следующие требования: тип тренажера – полномасштабный стенд, представляющий собой станок с ЧПУ в реальном виде для большего погружения в рабочую обстановку; корпус выполнить разборным из тонколистовой стали, обеспечив высокие механические свойства при эксплуатации изделия, рамную конструкцию выполнить из тонкостенной прямоугольной трубы, обеспечив жесткость и устойчивость конструкции при относительно небольшой массе; предусмотреть использование оригинальной панели управления станком с ЧПУ для максимальной имитации рабочего процесса; для удобства рассмотреть возможность управления ПК мышью и клавиатурой.

На основании вышесказанных выводов выявлена наиболее перспективная компоновочная схема (рис. 1).

Включение тренажера осуществляется с кнопки питания (1), расположенной снизу на боковой стенке. Для питания и защиты используется линейно-интерактивный ИБП (2). Полное управление системой осуществляется при помощи блока основного управления (3): запуск программ, просмотр документации, контроль за обучаемым. Блок представляет собой консоль с поворотным механизмом, на которой расположены сенсорный монитор (4), встроенная клавиатура (5) и USB-выходы (6) для подключения периферийных устройств. Для имитации рабочего места в корпус тренажера вмонтирована панель управления станком ЧПУ (7), расположение которой соответствует общим требованиям ГОСТ 22269-76Г и ГОСТ 12.2.033-78. Обработка информации происходит в ЭВМ (8). Для воздушного охлаждения элементов тренажера предусмотрена система вентиляции, состоящая из набора кулеров (9), закрытых решеткой и защитной сеткой для исключения попадания посторонних предметов. Экран визуализации (10) служит для отображения технологических процессов в реальном времени. В конструкции предусмотрено крепление стенда к полу и стене. Фактические габариты стенда 2100×250×2200 мм. На основании компоновочной схемы был разработан промышленный дизайн тренажера для обучения фрезеровщика.

### **Заключение**

В заключение, промышленный дизайн охватывает практически все сферы деятельности человека, делает жизнь проще и комфортнее. В результате проделанной работы были рассмотрены элементы дизайна, изучены современные инженерные технологии и материалы. На основе анализа аналогов и конструкции типового фрезерного станка с ЧПУ разработана компоновочная схема изделия и построена модель тренажера. Дизайн тренажера воплощает в себе требуемую функциональность и эстетичность.

### **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. Кочегаров Б.Е. Промышленный дизайн: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – 297 с.
3. Курушин В.Д. Промышленный дизайн. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 560 с.: ил.



## МОНТАЖ КУПОЛЬНЫХ СТРОЕНИЙ

*Щербакова П.С.*

*Научный руководитель: А.П. Соколов, доцент, к.т.н.*

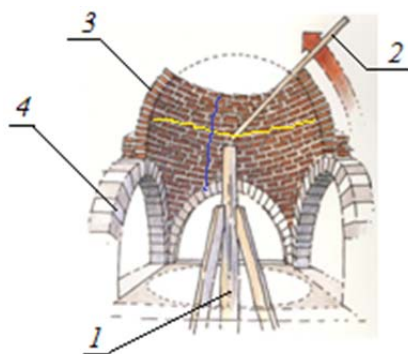
*НИ ТПУ, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: pss17@tpu.ru*

Аннотация. Рассмотрено монтирование купольных строений. Показано, что наиболее прост в проектировании и монтаже стратодезический купол. Предложен наиболее технологичный вариант монтажа стратодезического купола.

Цель работы: Разработка рационального монтажа стратодезического купола.

Исходя из терминологии купол (от латинского *cupula* – бочечка) – пространственное покрытие зданий и сооружений [1]. Первоначально купола сооружались из кирпича и с круглым основанием (рис. 1) [2], но со временем и развитием новых материалов, а также архитектурного дела в области построения куполов был осуществлен прогресс. Для их строительства введены новые материалы: металл, железобетон и др. и основание не обязательно должен быть круглым.



*Рис. 1. Начальный этап развития построения куполов [2]:*

*1 – центральный столб; 2 – пространственный циркуль; 3 – купол; 4 – арка*

До развития современной архитектуры многие народы строили дома, своей формой напоминающие купол, например, иглу (рис. 2) [3]. Минимальная затрата материалов – одна из главных причин популяризации подобных строений. Также из-за своей формы сооружение хорошо сохраняет тепло. Теплый воздух, который легче холодного задерживается в верхнем слое воздуха, а холодный находится приближенным к земле.



*Рис. 2. Дом куполообразной формы [3]*

В современной архитектуре принято возводить купольные строения в виде полусферы, которая за счет уменьшения толщины стенок поверхности все больше удовлетворяет определению оболочка. Проектирование таких строений ведется с использованием теории оболочек. На прочность купольного покрытия влияет множество факторов: вес конструкции; вес снежных слоев, прилегаемых к поверхности купола; ветровая нагрузка. Все эти факторы необходимо учитывать при проектировании сооружения. При проектировании куполов с несущей конструкцией из металла используется теория оболочек в чистом виде.

В соответствии с теорией, лучшее соотношение площади к ее весу будет у сетчатой оболочки, у которой поперечное сечение дуг в вертикальных плоскостях близко к поперечному сечению колец в горизонтальных плоскостях. В теории оболочек большое внимание уделяется их устойчивости. Согласно теории, для предотвращения неустойчивости оболочки вводятся дополнительные элементы жесткости в виде центрального столба [4].

При монтаже стратодезического купола подготавливается фундамент. В центре основания купола устанавливается вспомогательный столб. К нему приставляется лестница и закрепляется передвижная площадка, которая удерживает площадку верхнего крепления (рис. 3).

Заранее необходимо подготовить материалы для монтажа. Для его монтажа используются дуги, сваренные между собой. Первая дуга, закрепленная с лицевой стороны, в сечении имеет форму квадрата. Вторая дуга в сечении имеет форму полого цилиндра. В отличие от геодезического купола стратодезический не требует наличие коннекторов для крепления составных частей между собой. Дуги крепятся между собой при помощи сварки.

В начале работ закладывается фундамент желаемого размера. При разном диаметре купола будут использоваться разные технологии монтажа. При возведении купольных сооружений большого диаметра метод с установкой центрального столба становится нерентабельным. Для данной ситуации рекомендуется использовать дополнительные подпорки.

При создании купола высотой до 12 метров в его центре, для упрощения монтажа устанавливается металлический столб, высотой приблизительно совпадающий с верхней точкой купола. Далее производится установка основы поддержки крепежного кольца.

После возведения столба и закрепления основы производится установка стальных дуг. Они отличаются своей прочностью, что идеально подходит для каркаса купола. Первоначально устанавливаются вертикальные дуги. Далее горизонтальные дуги крепятся не сплошным кольцом, а отдельными частями, свариваемые между собой. В конструкции купола предусмотрен вход, который оформлен в виде арки. Для этого в определенном месте горизонтальные дуги не устанавливаются. Это позволяет варьировать ширину арки (рис. 3).

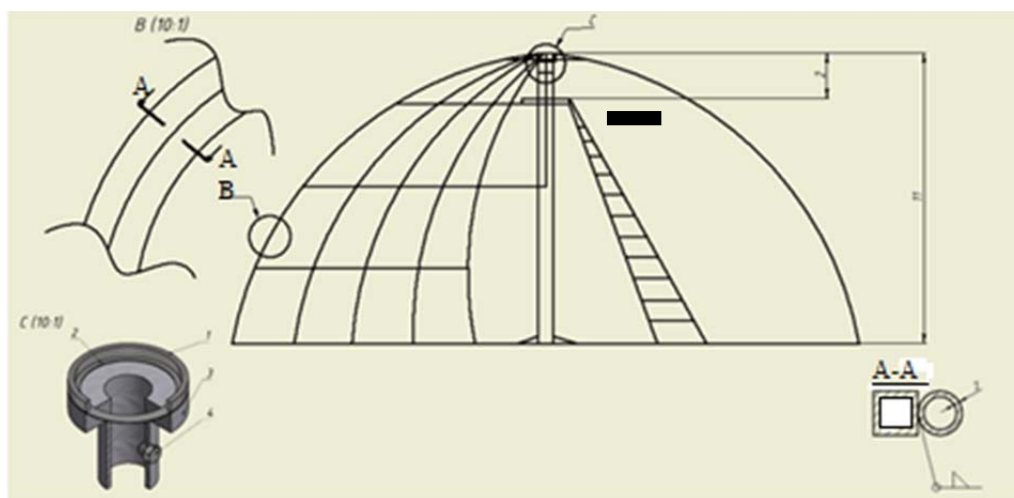


Рис. 3. Монтажная схема: 1 – кольцо; 2 – прокладка; 3 – основа; 4 – болт удержания основы

После возведения каркаса демонтируется внутренний центральный столб. Далее осуществляется отделка купола. В качестве материала используется сотовый поликарбонат, который крепится непосредственно к дугам при помощи шурупов с шайб, допускающих термическую деформацию поликарбоната, или других крепежных изделий. Купол можно считать возведенным.

При выполнении данной работы возник ряд проблем, которые стоит обозначить. Построение чертежа купола выглядит на первый взгляд не сложной задачей, однако на практике все несколько иначе. Стратодезический купол прост в проектировании в сравнении с другими. Построение чертежа геодезического купола становится затруднительным из-за ребер разного размера, рассчитать которые вручную без применения специальных программ затруднительно. Программы 3D моделирования могут облегчить задачу построения

наглядного представления возводимого купола. Удаление центрального столба из-под купольного каркаса не самая простая задача. При его демонтаже нужно быть крайне осторожным, так как возможно повреждение каркаса, наиболее вероятнее в верхней его точке. После возведения и отделки купола встает вопрос о его дальнейшей планировке. В силу его неординарного основания необходимо крайне внимательно подойти к данной проблеме.

### **Выводы**

1. Выявлены преимущества купола: сохраняемое тепло, легкость в сборке конструкции, меньшие затраты на материалы, устойчивость к погодным условиям.
2. Наиболее прост в проектировании и монтаже стратодезический купол.
3. До высоты купола примерно 10–12 метров введение технологического столба упрощает монтаж.

### **Список литературы**

1. Большой энциклопедический словарь / главный редактор А.М. Прохоров. – Москва: Советская энциклопедия. – 1993. – 1630 с.
2. Дуга из досок для кладки каменного свода // Строительные технологии: сайт. – 2023. – URL: <https://stroiteh-msk.ru/materialy/duga-iz-dosok-dlya-kladki-kamennogo-svoda-97-foto.html>.
3. Дом из ледяных блоков // Строительные технологии: сайт. – 2023. – URL: <https://tritonstroy.ru/foto/dom-iz-ledyanyh-blokov-91-foto.html4>.
4. Соколов А.П., Воронкова М.А. Купол как оболочка сооружения // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2017. – № 2. – С. 20–26.

## МЕХАНИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННОГО АРТ-ОБЪЕКТА

*Лобова О.А., студент гр. 1Г21*  
*Соколов А.П., к.т.н., доц.*  
*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*  
E-mail: oal9@tpu.ru

Аннотация. В работе анализируется возможность механизации и автоматизации изготовления деревянного арт-объекта. Выявлены основные факторы, влияющие выбор используемого инструментария. Показано, что размеры арт-объектов ограничены размерами заготовки, обусловленные диаметрами стволов используемых деревьев. Широко распространено склеивание деталей, что требует тщательной обработки склеиваемых поверхностей деталей.

Цель работы: проанализировать технику изготовления деревянного арт-объекта и дать рекомендации, как упростить работу скульптора с помощью механизации и роботизации.

В настоящее время становятся популярны достопримечательности городов. Арт-объекты внедряются в архитектурную среду городов и интерьер помещений, показывая эстетику мест. Важно о них знать, ведь они – достояние культуры.

Понятие «арт-объект» имеет различные трактовки в зависимости от целей исследования. В для нашего исследования подходит следующее определение: арт-объект – это художественная композиция, которую воспринимают как «современную скульптуру». Архитектурные макеты тоже подходят под это определение. Они представляют собой уникальные и красивые произведения искусства, использующие древесину для воссоздания зданий, памятников и других архитектурных сооружений.

Зародилось древесное искусство с дохристианских времен (рис. 1). Мастера использовали древесину кипариса, кедра, смоковницы, ладана [1].



*Рис. 1. Старинные славянские игрушки [1]*

Из дерева изготавливали скульптуры богов, которые сверху могли быть облицованы бронзовыми пластинами. Статуи натирались арома-маслами и воском.

Создание деревянной архитектуры требует включения производственный процесс множества работников. Поэтому люди придумали особую систему изготовления деревянной архитектуры, включающую: проектирование, подготовку материала, выбор инструментария, выбор технологии изготовления, финишная отделка поверхностей.

Проектирование. Определение масштаба, пропорций и деталей сооружений. Точность и детализация проекта играют важную роль для получения высококачественного макета.

Подготовка материала. Иностранцы резчики чаще работают по кипарису, тису, черному дереву, кедру, клену, самшиту, можжевельнику, туе и другим породам дерева. Русские мастера в основном делают арт-объекты из сосны, липы, ольха и осины. Дерево обрабатывается для удаления недостатков и придания гладкой поверхности. Это может включать планировку, шлифовку и обработку специальными растворами для защиты от влаги, гниения и насекомых.

Выбор инструментария. Проектировщик и изготовитель выбирают определенный инструментарий для создания изделия, начиная от ручного инструмента и заканчивая

станками, которые облегчают работу. В табл. 1 приведена систематизация инструментария, исходя из особенностей самих арт-объектов (габариты, вес, ориентация и т. д.) и обработки элементов этих объектов.

Таблица 1

*Инструментарий для работы по дереву*

Инструмент	Достоинства	Особенности применения
Ручной инструмент		
топор	универсальность	снятие большого объёма материала
долото, ножи столярные стамески клюкарзы, церазики	тонкая работа	обработка специализированных поверхностей
Ручной механизированный инструмент		
бензопила	мобильность	для распила больших материалов, для поперечной распиловки стволов и отсекаания веток
электрический лобзик	большая производительность	обработка криволинейных поверхностей с опорой на плоскость
ручной фрезер		
шлифовальная машинка		обработка поверхностей с большим радиусом кривизны
цепная электропила	универсальность	обработка поверхностей без тонкой детализации
электродрель		сверление отверстий, расширение функций при применении различных насадок
перфоратор		механизация долбления и резки тонких поверхностей
Станки		
Ленточная пиорама	большая производительность	распил деревьев вдоль продольной линии
Электрофуганок, рейсмус		Гладкие плоские поверхности
Копировально-фрезерный станок		Получение барельефов

При систематизации технологий изготовления арт-объектов следует выделить три этапа. Первый этап – получение заготовки. На этом этапе производится распиловка древесины на элементы, удобные для дальнейшей детальной обработки. Второй этап – резьба по дереву. Это одна из самых популярных техник, которая позволяет создавать сложные детали, узоры и фигуры, вырезая их из дерева с помощью резцов и ножей. Резьба по дереву требует мастерства и терпения, но результаты впечатляющие. Третий этап – отделка поверхностей. На этом этапе производят ламинирование или окрашивание, чтобы придать объекту желаемый цвет и текстуру. Также могут быть добавлены декоративные элементы, например, стекло или металлические детали.

Как правило, при изготовлении деревянной скульптуры мастер сталкивается с ситуацией, когда диаметр дерева меньше, чем размеры арт-объекта, и в этом случае мастеру потребуется использовать склеивание. На рис. 2 и 3 приведены варианты склеивания скульптур. Белым цветом показаны места склеивания элементов скульптур. Анализ этих скульптур показывает, что при их изготовлении применены разные подходы.

При изготовлении скульптуры «Конь» (рис. 2) массив заготовки скульптуры получен из четырёх частей, каждая из которых имеет две параллельные плоскости, по которым и произведено склеивание. Такой вариант упростил получение заготовки. Затем применялась цепная электропила, с помощью которой удалялись большие куски заготовки. На следую-



щем этапе применялся ручной и электрический инструмент для более тонкой обработки поверхностей скульптуры.

При изготовлении скульптуры «Шаман» (рис. 3) туловище изготовлено из куска ствола дерев, к которому приклеены руки и другие элементы. Резчик выбирает для склеивания «скрытые» места – места соприкосновений граней панелей, в складках деталей, в местах перепадов. Если же «скрытых» мест нет, то резчик тщательно заделывает швы.



*Рис. 2. Конь*



*Рис. 3. Шаман*

Анализ возможности механизации и автоматизации процесса изготовления арт-объектов из древесины показывает следующее. Механизация процесса на данный момент осуществляется в основном с помощью применения ручного инструмента. Механизация с применением станков осуществляется на данный момент только на этапе получения массивных заготовок.

Изготовление деревянных скульптур больших габаритов требует включения операции склеивания элементов скульптуры, что в свою очередь требует тщательной подгонки склеиваемых поверхностей. Такой процесс разбивается на два этапа. Первый этап – определение взаимного расположения склеиваемых деталей. Второй этап – обработка склеиваемых поверхностей. Скульптор вручную осуществляет оба этапа. Оценим возможности механизации и автоматизации этого процесса.

При современном уровне развития техники механизация обоих этапов с операцией склеивания может быть осуществлена с помощью манипуляторов, управляемых человеком-оператором [2]. В случае создания скульптур, у манипуляторов проблемным элементом является захват. Выпускаемые промышленностью захваты плохо приспособлены для фиксации деталей нестандартной формы. Разработка захватов является бурно развивающейся областью [3, 4].

Автоматизировать процесс по обоим этапам с операцией склеивания можно за счёт применения роботов [2]. Выпускаемые промышленностью роботы-фрезеровщики могут выполнять фрезеровку поверхностей любой формы и любой ориентации в пространстве [5]. Однако, применение их для создания арт-объектов сильно ограничено, так как требует больших затрат времени на программирование, что оправданно при массовом производстве, но не рационально при изготовлении уникальных арт-объектов.

## **Выводы**

1. С увеличением размеров деревянных арт-объектов растёт необходимость механизации процесса их создания.
2. Имеющийся ассортимент электроинструментов мало приспособлен для изготовления скульптур больших размеров.
3. Чем больше размер заготовки, тем чаще используется склеивание деталей. Это требует тщательной обработки склеиваемых поверхностей деталей, что в свою очередь усложняет проектирование процесса изготовления арт-объекта.

## **Список литературы**

1. Старинные деревянные игрушки // Из собрания Государственного Русского музея: сайт. 2020. – URL: <http://parents-tale.ru/tradicii/starinnye-derevyannye-igrushki>.
2. Соколов А.П. Манипулятор в дизайне // Труды Академии технической эстетики и дизайна, 2014. – № 1. – С. 26–31.
3. Патент № 111011. Российская федерация, МПК А63Н33/26, G09В1/08 (2006.01) Устройство для формирования объёмных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербинина, М.С. Кухта; опубл.10.12.2011. Бюл. № 34.
4. Патент № 220957. Российская федерация, МПК МПК G09В1/08 (2006.01). Устройство для формирования объёмных фигур / А.П. Соколов, А.Д. Ридченко, М.С. Кухта; опубл. 11.10.2023. Бюл. № 29.
5. Новая эпоха в деревообработке // Роботы КУКА: сайт. 2020. – URL: <https://ipk-sibiri.ru/equipment/mebel/roboty-kuka-novaya-epoha-v-derevoobrabotke>.



## ВИРТУАЛИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДИЗАЙНЕРА

*Латина С.В., студент гр.1Г21*

*Научный руководитель: Соколов А.П., к.т.н., доцент*

*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: sv116@tpu.ru


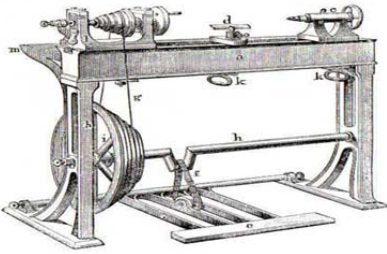

Аннотация. Проанализирована тенденция развития инструментария. Показан рост степени отчуждения дизайнеров от результатов своего творчества. Владельцы виртуальных площадок создали иллюзию огромного пространства для творчества. Современных дизайнеров двигает стремление получить свой цифровой патент.


Ключевые слова: степень отчуждения, NFT, виртуализация

Испокон веков человек хочет облегчить свой труд, и для этого он усовершенствует инструменты, изобретает станки, вводит автоматизацию, роботизацию, искусственный интеллект. Но одновременно с этим идёт и отчуждение человека от продуктов его труда – физического и интеллектуального. Дизайн – это область умственного труда. В русскоязычной сфере дизайн – это проектирование с художественными элементами. В англоязычной сфере дизайн – это любое проектирование. А в нашем исследовании используется именно это определение. Анализ тенденций в развитии дизайна выявляет закономерности. Развитие дизайна тесно связано с развитием производства от ручного к виртуальному. Тенденции развития производства проиллюстрированы табл. 1.

Таблица 1

*Совершенствование инструментария производства*

Характеристика производства	Инструментарий	Степень отчуждения работника от продуктов труда
Ручной инструмент (ручное ремесло)	 <p style="text-align: center;">[1]</p>	Объект производства неотчуждаем до продажи
Станки (механизованное производство)	 <p style="text-align: center;">[2]</p>	Объект производства частично отчуждаем – мастер должен делиться с членами производственного процесса
Роботизация	 <p style="text-align: center;">[3]</p>	Участники производственного процесса должны делиться плодами производственного процесса с разработчиками программного обеспечения

Характеристика производства	Инструментарий	Степень отчуждения работника от продуктов труда
Введение искусственного интеллекта	 <p data-bbox="724 719 767 745">[4]</p>	Обладание плодами процесса создания реальных объектов переходит к владельцам искусственного интеллекта (ИИ)

В нашем исследовании рассматривается проблема отчуждения участников производственного процесса от продуктов их деятельности на протяжении этапов развития дизайна.

В древности, задолго до появления различных редакторов, программ и техники, люди создавали шедевры исключительно с помощью самодельных станков, инструментов и подручных материалов. В этом времени мастеру был полностью подчинён процесс создания изделия. Он отчуждался от продукта производства лишь при продаже, когда продукт становится владением покупателя.

В эпоху технической революции, когда люди стали оптимизировать всевозможные ручные процессы, безусловно, мир дизайна начал процветать. Одним из достижений стало изобретение различных станков. Изобретение и усовершенствование станков оказало огромное влияние на развитие промышленности и экономики. Благодаря этому устройству стало возможным массовое производство различных изделий, что значительно ускорило темпы развития различных отраслей промышленности. Но теперь процесс не принадлежал лишь одному создателю, он работал в производственном коллективе, и этапы производственного процесса нужно было согласовывать с членами производства. На этом этапе и проявляется первое отчуждение разработки дизайна от человека.

К тому же, промышленная революция также привела к потере некоторых традиционных ремесел и навыков, которые были заменены машинным производством. Снижение процента ручной работы в изделиях уже в то время вызвало беспокойство у некоторых дизайнеров и философов, которые начали говорить о потере уникальности и индивидуальности в дизайне.

Следующим этапом развития дизайна является роботизация. В настоящее время тенденция в дизайне – это использование искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения для автоматизации и оптимизации процессов в области дизайна. Это может включать в себя такие задачи, как создание шаблонов, генерация текстур, оптимизация цветовых схем, автоматическое ретуширование изображений, а также автоматизация других рутинных задач. Участникам производственного процесса сейчас необходимо не только работать друг с другом, но и делиться плодами производственного процесса с разработчиками программного обеспечения.

Если рассуждать о том, как далеко зашло отчуждение человека от дизайнерского производства, на ум сразу приходит недавнее появление виртуального феномена под названием «NFT».

NFT (Non-Fungible Tokens, «невзаимозаменяемый токен») – это уникальные, невзаимозаменяемые небольшие части данных, которые используются для подтверждения права собственности на цифровые активы. NFT стали популярными в последние годы (в особенности

в 2021 году) благодаря их применению в сфере искусства и коллекционирования [6]. В основном это были NFT-картины. Самые дорогие картины созданы американским цифровым художником Майком Винкельманном под псевдонимом «Beeple 1» (рис. 1). Его популярное творение было продано более чем за 69 миллионов долларов [7]. Для сравнения, картина «Богатыри» В.М. Васнецова оценивается лишь в 1 миллион долларов.

Кроме картин, NFT распространилось и в сферу архитектуры. В начале 2021 года онлайн-торговая площадка провела аукцион под названием The Shipping, на котором десять предметов виртуальной мебели были проданы как NFT (рис. 2). Они принесли дизайнеру 450 тысяч долларов за 10 минут.

В августе 2021 года аукционный дом Christie's запустил свой первый специализированный аукцион NFT Design. Дизайнер разработал для аукционного дома серию из десяти анимаций NFT. Эти цифровые объекты охватывают целый ряд предметов коллекционного дизайна. [4]

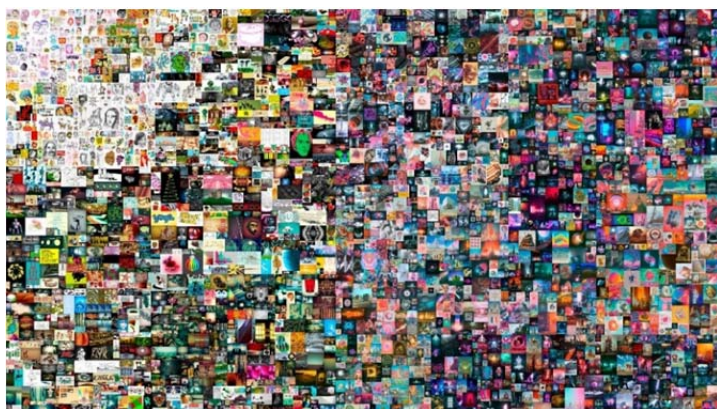


Рис. 1. *Everydays: the first 5000 days, Beeple*



Рис. 2. *Кресло «Гортензия»*

Главный вопрос, который возникает «Почему такая стоимость?» и «Почему это стало популярно?». Есть несколько причин:

1. Уникальность. NFT предоставляет уникальный сертификат собственности на цифровой актив, что делает каждую картину уникальной и не имеющей аналогов.

2. Ограниченное количество. NFT позволяет создавать ограниченное количество копий произведения искусства, что увеличивает его ценность и редкость.

3. Статус эксклюзивности: NFT-токены могут быть проданы только на определенных платформах, что создает ощущение эксклюзивности и повышает спрос на произведения искусства.

4. Поддержка сообщества: NFT получает все больше поддержки от знаменитостей, художников и инвесторов, что усиливает его привлекательность для коллекционеров и повышает цены на произведения искусства.

Однако ограниченное количество и поддержка сообщества существовали и на предыдущих этапах эволюции дизайна. С уникальностью и статусом эксклюзивности всё обстоит сложнее. Чтобы узнать уникальность NFT, достаточно посмотреть на их идентификатор. Каждый из них имеет код, который формируется при его создании и не может быть изменен. Но в этом и слабость невзаимозаменяемого токена. Ведь теперь цифровых дизайнеров двигает не идея, не практичность создаваемого ими изделия, не особый скрытый смысл, который они хотят донести своим творчеством, а лишь стремление получить свой цифровой патент. А тот факт, что NFT могут быть проданы только на специальных площадках, указывает на то, что степень отчужденности достигает своего пика. Плоды дизайна почти не принадлежат автору. Его публикации творений принадлежит искусственному интеллекту, точнее хозяевам отдельных площадок искусственного интеллекта.

Раньше при отсутствии виртуальных помощников, люди ценили не только идею мастера, но и полностью его труд, время. Создавая изделия, искусники отдавали всего себя,

свою жизнь. Время шло, люди старались оптимизировать все процессы, чтобы экономить время и силы. А в итоге, сами того не заметив, почти перестали в них участвовать и вовсе.

Виртуальный мир всё еще оставляет за собой множество вопросов. Имеют ли его плоды какой-либо практический смысл для человечества? Как повлияет превращение деятельности человека в дизайне в самостоятельную силу на наш постоянно прогрессирующий мир? Каждый имеет право на выбор – доверять новым технологиям или нет? Но, к сожалению, ответы на эти вопросы остаются открытыми.

### **Выводы**

1. Люди старались оптимизировать ручной труд, но в итоге почти полностью перестали участвовать в процессе
2. Владельцы виртуальных площадок создали иллюзию огромного пространства для творчества, маскируя этим свою манипуляцию покупателями.
3. Современных дизайнеров двигает не идея, не практичность создаваемого ими изделия, а лишь стремление получить свой цифровой патент, что подчиняет их общей системе искусственного интеллекта.

### **Список литературы**

1. Плотницкое дело и его инструменты в Древнем Египте // ApertureLaboratories: сайт – 2022. – URL: <https://aperturescience.ru/threads/plotnickoe-delo-i-ego-instrumenty-v-drevnem-egipte.978155>.
2. Токарные станки в России // СКС Станко: сайт. – 2020. – URL: <https://sksstanko.ru/blog/tokarnye-stanki-v-rossii>.
3. Система CeflaFinishingiGiotto // Woodworking Network: сайт. – 2016. – URL: <https://www.woodworkingnetwork.com/events-contests/event-coverage/cefla-live-event-draws-1200-see-rd-product-development>.
4. NFT – новая реальность в архитектуре и дизайне // Милан: сайт. – 2022. – URL: <https://www.milansofa.ru/blog/NFT---novaya-realnost-v-arhitekture-i-dizajne>
5. СамыедорогиеNFT-картины // Profinvestment: сайт. – 2023. – URL: <https://profinvestment.com/most-expensive-nft-paintings>.
6. Оценка, продажа и реализация картин Васнецова // Лермонтов: сайт. – 2022 – URL: <https://lermontovgallery.ru/spravochnik-antikvariata/otsenka-prodazha-i-realizatsiya-kartin-vasnetsova>.



## ПРОБЛЕМА РЕСУРСОЗАТРАТНОСТИ В ПРОЦЕССЕ КОВКИ

Гайворонская К.Н.

Научный руководитель: Соколов А.П., к.т.н., доцент

НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kng6@tpu.ru

Аннотация. В данной работе исследуется проблема ресурсозатратности в процессековки. Описываются причины и пути решения данной проблемы. Рациональное сочетание вторсырья и нового сырья в арт-объекте позволяет уменьшать объём отходов производства, добавляет элемент творчества в процесс утилизации отходов и повышает эстетичность объекта. Приводятся примеры работ, созданных с целью актуализации использования вторичного сырья.

Ключевые слова: ресурсозатратность, ковка, вторичное сырье, эстетичность, утилизация.

Актуальность работы связана с ресурсозатратностью при создании кованых изделий, которая зависит от множества факторов, квалификации специалистов, материалов и оборудования. В целом, кованые изделия продолжают пользоваться спросом из-за своей прочности, долговечности и эстетической привлекательности.

Цель данного исследования – найти пути уменьшения затрат ресурсов при ковке.


Ковка – это процесс обработки металла давлением, при котором заготовка нагревается до температуры, позволяющей ей принять нужную форму под воздействием ударов молота или другого инструмента. Этот процесс используется для создания изделий из железа, стали, меди, алюминия и других металлов. Ковка может быть ручной, когда кузнец использует молот и наковальню, или машинной, когда заготовка обрабатывается на специальном оборудовании.

Однако, при машинной ковке используются заготовки деталей, получаемые с большим объёмом отходов по металлу. При ручном получении заготовок, как правило меньше, но велики затраты ручного труда. В обоих случаях есть отходы металла, и эти отходы желательнее рационально использовать. Решением данной проблемы можно считать создание кованных арт-объектов из вторичного сырья.

С точки зрения рациональности и эффективности использования отходов был проведён анализ арт-объектов, который отражён в табл. 1.

Таблица 1

*Характеристика арт-объектов по эффективности использования отходов*

№	Работа	Отличительная особенность	Преимущества	Недостатки
1	 Медведь [1]	Работа выполнена полностью из вторичного сырья, созданного на производстве.	Прочность и качество работы. На производстве детали проходят строгий контроль качества и обычно изготавливаются из прочных материалов	Ограниченный выбор форм, размеров и стилей, что может ограничивать творческий потенциал кузнеца при создании арт-объекта

2	 <p>Комар [2]</p>	<p>Работа частично выполнена из готовых элементов вторичного использования. (крылья выполнены вручную, посредствомковки)</p>	<p>Рациональное сочетаниековки и сварки</p>	<p>Сложность подбора материала. (учет вида металла при непропорциональных размерах составляющих элементов)</p>
3	 <p>Орёл [3]</p>	<p>Данный арт объект выполнен из обрезков металла, полученных на гильотине</p>	<p>Материал не требует дополнительной обработки</p>	<p>Качество: излишки деятельности хранятся в неблагоприятных условиях, металл поддается коррозии</p>
4	 <p>Лев [3]</p>	<p>Данная работа совмещает в себе ковку деталей из вторичного сырья с последующей сваркой их между собой</p>	<p>Художественная выразительность. Впечатляющая комбинация техник создания объекта.</p>	<p>Требуется много времени для подбора деталей из вторсырья</p>
5	 <p>Павлин</p>	<p>Работа выполнена из комбинированного вторичного сырья. (металл, стекло, поликарбонат)</p>	<p>Использование разнородного вторичного сырья</p>	<p>Отсутствие возможности замены составляющих частей идентичными</p>
6	 <p>Грибочек</p>	<p>Арт-объект выполнен частично из вторичного сырья в виде металлической трубы в сочетании с поликарбонатом</p>	<p>Объект содержит дополнительную функцию в виде светильника</p> 	<p>Прочность недостаточно высока. Изделие подвержено воздействию солнца, мороза и влаги</p>
7	 <p>Винтовая лестница</p>	<p>Объект по весу наполовину выполнен из вторичного сырья. (центральная часть представляет собой отрезок трубы из теплотрассы)</p>	<p>Прочность конструкции</p>	<p>Сложность создания формы, за счет плотности, толщины материала</p>

Общими недостатками приведенных вариантов использования вторсырья для создания арт-объектов являются следующие: вторичное сырье может иметь более низкое качество, чем первичное, поскольку оно уже было использовано и может иметь следы коррозии, износа или других повреждений. Кроме того, процесс переработки вторичного сырья трудоемок и требует дополнительных затрат на очистку, сортировку и подготовку деталей дляковки и сварки.

### **Выводы**

1. Использование вторичного сырья облегчает работу мастера в том случае, когда используются готовые, заводские детали, не требующие дополнительной обработки.

2. Использование вторичного сырья усложняет задачу мастера при повышенных требованиях к эстетике арт-объекта, когда требуется дополнительная обработка, переработка материала и много ручного труда.

3. При создании арт-объекта из вторичного металла наиболее рационально совмещать минимальную обработку деталей ковкой с последующей сваркой этих деталей. При этом достигаются минимальные затраты на материал, энергию и ручной труд.

### **Список литературы**

1. Ара Алесян. Уникальные скульптуры из металла: сайт. 2023. – URL: <https://vstroках.net/kultura/ara-alekryan-unikalnyie-skulpturyi-iz-metalla>.

2. Норильчанин нашёл необычное применение металлолому // Дела: сайт. 2023. – URL: <https://dela.ru/lenta/269574>.

3. Искусство из металлолома: сайт. 2023. – URL: <https://ru.pinterest.com/pin/made-by-jeff-sellers-i-love-this-piece--40180621659887175>.



## РАЗРАБОТКА И ДИЗАЙН ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ГРЕЛКИ

Лаубган К.В., НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4НМ21,  
E-mail: kv110@tpu.ru;  
Кухта М.С., д-р филос. наук, профессор ОмШ ТПУ,  
E-mail: kuhta@tpu.ru;  
ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический университет»

Концептуальное конструирование эргономической грелки является важной областью развития в сфере дизайна и инноваций. Эргономическая грелка представляет собой инновационное устройство, способное обеспечить комфорт, облегчение напряжения и боли в различных частях тела, созданные с учетом анатомии и физиологии человека.

Принцип работы электрогрелки подушки основан на принципе электрического нагрева. Она содержит нагревательный элемент, который преобразует электрическую энергию в тепло. Управлять эргономической грелкой можно через панель управления или используя специальный пульт.

Принципиальная схема представлена на рис. 1

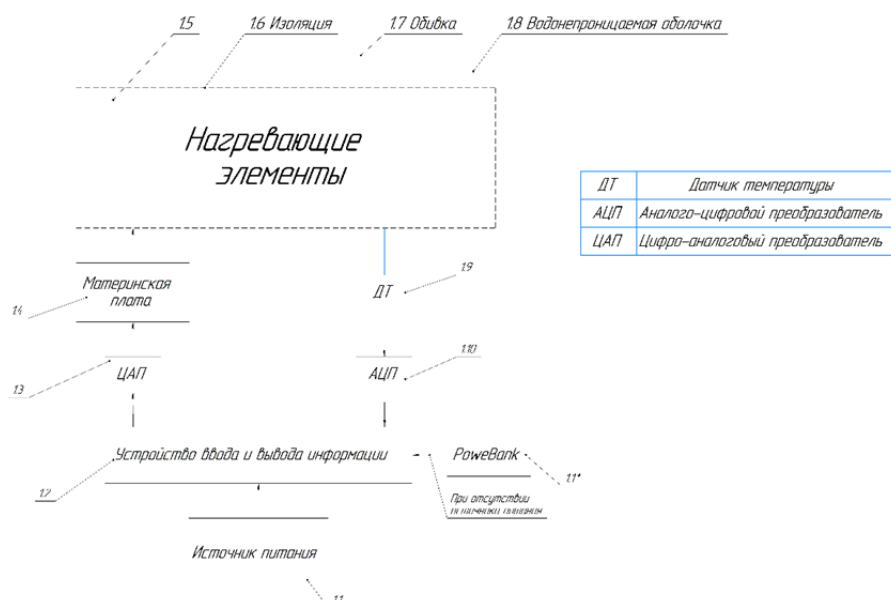


Рис. 1. Принципиальная схема

Основным материалом был выбран материал «Мемори». Для изоляции нагревающих элементов используется медь. В качестве водонепроницаемой оболочки используется материал полиуретановая ткань.

На рис. 2 представлен первый эскизный вариант эргономической грелки-подушки с прямоугольной формой

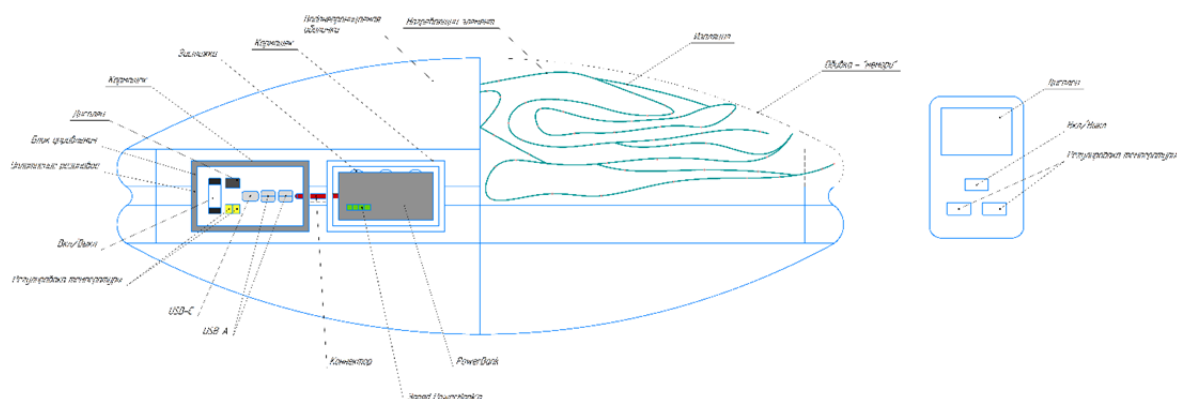


Рис. 2. Эргономическая грелка-подушка с прямоугольной формой

На рис. 3, а, б представлен второй эскизный вариант эргономической грелки-подушки с вырезом.

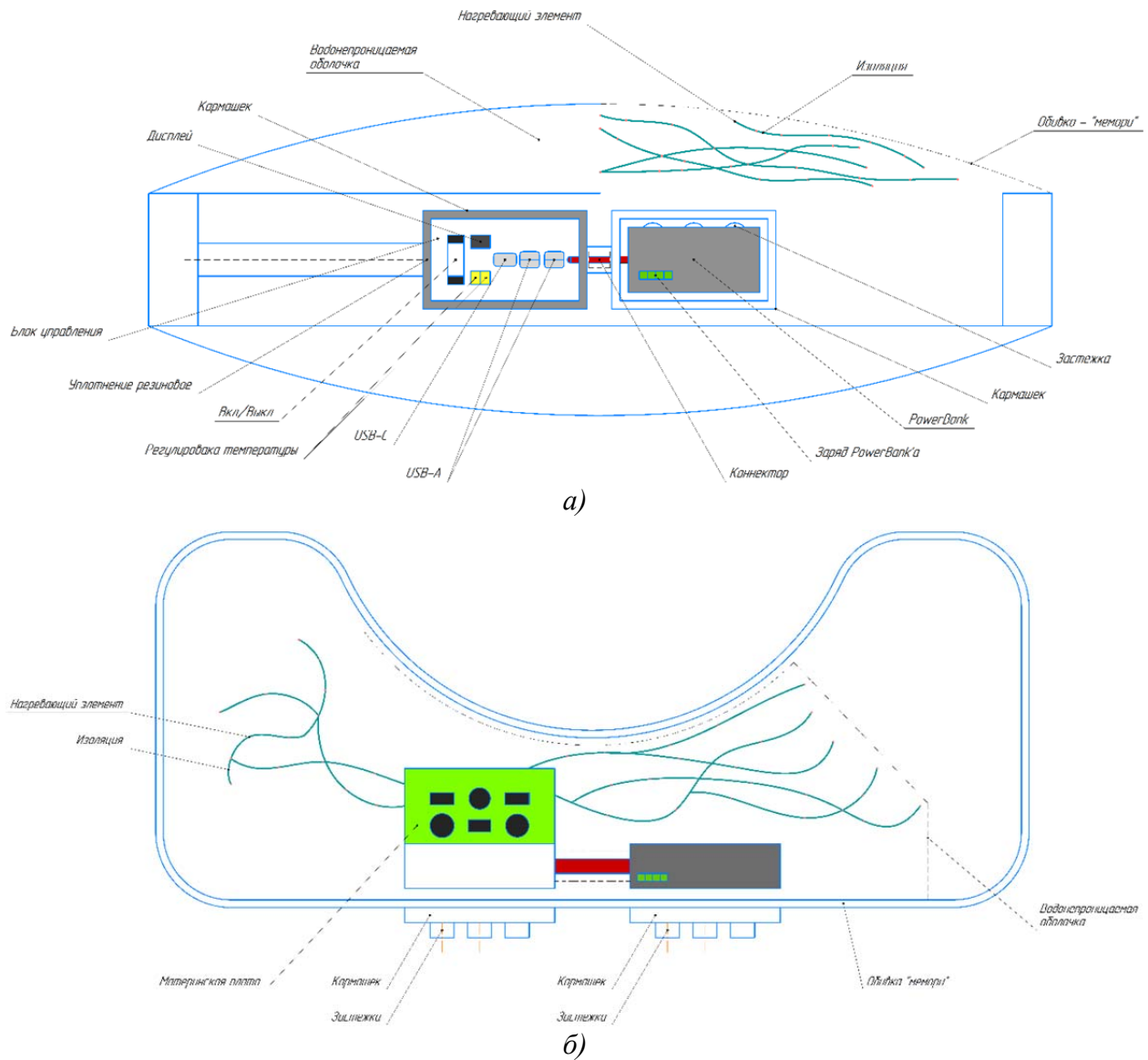


Рис. 3. Эргономическая грелка-подушка с вырезом: а) вид сбоку; б) вид сверху

Концепт в контексте дизайна и проектирования относится к общей идее, основным принципам и намерениям, которые лежат в основе создания продукта, объекта или системы.

На рис. 4, а, б представлен первый вариант эргономической грелки-подушки с прямоугольной формой



а) панель управления;

б) рабочая сторона;

Рис. 4. Эргономическая грелка подушка с прямоугольной формой

На рис. 5, а, б представлен второй вариант эргономической грелки-подушки с вырезом. Основным отличие второго варианта от первого является – наличие эргономического выреза под голову как для мужчин, так и для женщин.



*а) панель управления;*

*б) рабочая сторона;*

*Рис. 5. Эргономическая грелка подушка с вырезом*

В заключение, концептуальное конструирование эргономической грелки играет важную роль в создании продукта, который обеспечивает комфорт и облегчение напряжения и боли в определенных частях тела. Проведенная работа позволила исследовать различные аспекты дизайна, функциональности и эргономики грелки, а также исследовать возможности использования инновационных материалов и технологий. Этот процесс имеет большое значение для дизайнеров, инженеров и производителей, поскольку он позволяет создавать инновационные и привлекательные продукты, которые улучшают качество жизни и благополучие пользователей.

#### **Список литературы**

1. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.Л. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; под ред. И.В. Голубятникова, М.С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 312 с.
2. Кочегаров Б.Е. Промышленный дизайн: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – 297 с.

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КАПСУЛЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ СВЕТО-СЕНСОРНОЙ АКТИВАЦИИ

*Козаченко Е.Е., аспирант 1 курс, гр. А2-64,*

*E-mail: eek18@tpu.ru;*

*Кухта М.С., д.филос.н., профессор,*

*E-mail: kuhta@tpu.ru;*

*НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*

### **Введение**

В современности стресс и тревога являются актуальными проблемами человечества. Ментальные проблемы напрямую влияют на качество жизни человека в целом, на режим работы и отдыха. Человек испытывающий проблемы в психоэмоциональном плане часто переутомляется и не может восстанавливать свои ресурсы своевременно, что приводит к тотальному выгоранию и депрессии.

Для профилактики подобного состояния человеку необходимо соблюдать определенный режим питания для поддержания оптимального уровня витамина D, так как его дефицит напрямую влияет на нервную систему. Помимо питания необходимо взаимодействие открытых участков кожи тела человека с естественным освещением в утренние часы, но это не всегда является возможным из-за территориальной особенности проживания человека в регионах с малым количеством солнечных дней в году.

Нервное истощение, спровоцированное низким уровнем витамина D, устраняется только комплексно, а именно с помощью медикаментозной терапии (приёмом медикаментозной дозы витамина D свыше 2000 МЕ) и восстановление психоэмоционального состояния с помощью практик, медитаций и физической активности (спорт, танцы, йога). Практики, медитации и физическая активность позволяют снизить уровень тревожности, пока человек находится на стадии восполнения необходимого для нормальной жизнедеятельности уровня витамина D. Необходимость применения различного рода активностей очень важно в период восполнения, так как данный период занимает большое количество времени, в среднем от полугода до 2–х лет исходя из особенностей организма человека усваивать данный витамин и скорости синтеза витамина в печени.

### **Устранение последствий дефицита витамина D посредством дизайна**

Благодаря современному дизайн-проектированию возможно достичь профилактического лечения последствий нехватки витамина D, путем разработки оборудования, позволяющего снизить уровень тревожности в период восполнения витамина.

Данное оборудование направлено на снижение тревожности путем воздействия на человеческое тело через сенсорные анализаторы (визуальный, слуховой, тактильный). Устройство представляет собой капсулу, в которой человек располагается в горизонтальном положении с небольшим наклоном тела (около 15 градусов). Применение таких капсул возможно в различных лечебно-профилактических учреждениях загородного типа (санаториях, лечебных курортах), а также в SPA-салонах в рамках городской среды.

В процессе процедуры капсула мягко влияет на сенсорную систему человека в течение определенного периода времени (15–30 минут), применяя медитативный эффект, для снижения тревоги, помимо медитации человек оказавшийся в капсуле получает минимальное воздействие ультрафиолетового излучения, безопасного для кожи, для выработки витамина D2 (холекальциферола) естественным путём, то есть через кожу.

Медитативный эффект достигается двумя вариантами сценария:

### **Медитация направленная**

В процессе данной процедуры человек находящийся в капсуле прослушивает аудиодорожку с медитативной практикой, плавно направляющей сознание человека на определенные ощущения. Капсула, основываясь на аудиодорожку исполняет программу, которая

помогает человеку сконцентрироваться на той или иной части тела. Например, если голос диктора просит сконцентрировать своё внимание на левой ноге и прочувствовать все ощущения, то программа активизирует зону, в которой располагается нога с помощью тепла или легкой вибрации. Медитация может сопровождаться ритмичным воздействием света, без активных мерцаний, во избежание дискомфорта и провокации приступов опасных заболеваний, таких как эпилепсия. Такие практики позволяют людям с диагнозом генерализованная тревожность учиться избавляться от информационного шума в голове и получать психоэмоциональную перезагрузку в режиме реального времени.

### **Медитация природонаправленная**

Данный тип медитации подойдет больше для профилактики информационной перегрузки, особенно актуально для жителей мегаполиса, которые не способны покинуть городскую среду, по причине отсутствия навыков поведения в дикой природе или физической невозможности. В процессе медитации человек прослушивает аудиодорожку со звуком живой природы, пение птиц, шум океана, дождя и т. д. Процесс медитации так же может сопровождаться ритмичным воздействием света, без активных мерцаний. В рамках данной медитации программа активизирует тактильные ощущения человека путём лёгких вибрации, имитирующих на примере падение капель дождя или покачиваний волнами.

### **Формообразование капсулы**

При разработке капсулы свето-сенсорной активации необходимо учитывать эргономические параметры человеческого тела в положении лежа. В эти параметры входят: устойчивое и оптимальное положение позвоночника, головы и ног человека, параметр роста, веса и габаритов в области плечевого пояса и бедер. Данные параметры необходимо учесть, чтобы при процедуре человек мог поместиться в данную капсулу и полностью расслабить мышцы, так как это важно для достижения абсолютного медитативного эффекта процедуры. Также необходимо учитывать сценарий взаимодействия человека в процессе погружения в капсулу и выхода из нее. Необходимо предусмотреть сценарии по возрасту и габаритам тела человека, во избежание дискомфорта при взаимодействии (машина – человек).

При проектировании возникает вопросы касаются конструкции капсулы, а именно форма объекта, форма дверей, форма лежа в котором будет располагаться человек, но каждая из этих форм будет напрямую зависеть от функционала и эргономики объекта. При проектировании общей формы (дизайна) капсулы возможно применить метод художественного проектирования и ассоциативный метод, при котором форма капсулы будет иметь мягкие, пластичные или округлые изгибы, для поддержания интуитивного восприятия образа снижающий тревожность.

### **Заключение**

Разработка медицинского или профилактического оборудования является сложной и многоструктурной работой, в рамках которой необходимо апеллировать знаниями не только в области дизайна, но и в смежных областях проектирования, например эргономики (физической и когнитивной). С помощью дизайна возможно нивелировать последствия проблем в области, медицины, психологии, коммуникации, мотивации, образования и других областей или хотя решить часть этих проблем.

### **Список литературы**

1. Васильева М.О., Кухта М.С. Принципы разработки световых сценариев: управление светом в интерьере // Академический вестник УралНИИПРОЕКТ РААСН. – 2019 – № 1(40). – С. 88–93.
2. Васильева М.О., Кухта М.С. Светодизайн интерьера: традиции и современность. // Дизайн. Материалы. Технология / – 2018. – № 4 (52). – С. 35–41.

3. Кухта М.С., Васильева М.О. Дизайн сценариев комфортного освещения производственных помещений в условиях Арктики // Дизайн. Материалы. Технология / – 2020. – № 1 (57). – С. 17–22.

4. Кухта М.С., Хмелевский Ю.П., Куценко Л.Е., Хомушку О.М. Дизайн интерьерных световых панно с использованием LED-технологий // Академический вестник УралНИИПРОЕКТ РААСН. – 2017 – № 1(32). – С. 96–99.

5. Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Трошина Е.А. / Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны / Проблемы эндокринологии 2021;67(2):84–92.

## **ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦВЕТНОГО ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАМЕРНОГО ТЕАТРА И МАЛЫХ СЦЕН**

*Плещинская А.И., студент 3 курса, гр. 8Д11*  
*Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор*  
*НИ ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*  
E-mail: Aip29@tpu.ru

Театр существует со времен Древней Греции, с пятого века до нашей эры. Начиная с этого периода театр находил своих почитателей и последователей во все времена. Несмотря на вносимые изменения, на смену моды на определенные жанры и на смену актуальных тематик, он оставался и остается важным элементом культуры. В пьесе Шекспира «Гамлет» главный герой говорит о том, что театр – зеркало, в котором отражаются века, сословия и поколения. Проще говоря, театр – зеркало жизни. На протяжении всей его истории, архитекторы, костюмеры, декораторы и осветители стремились к созданию условий, передающих задуманную автором постановки атмосферу. Свет в театре – «главный волшебник», он позволяет выполнить множество задач. Во-первых, создать условия видимости на сцене, подчеркнуть фактуру и объем объекта, создать эффект определенных материалов, имитировать природные явления, например, закат. Во-вторых, он психологически воздействует на зрителей, поскольку может выражать символические идеи, подчеркнуть сюжетные повороты, сконцентрировать внимание зрителя.

Основная цель осветителей – создать настроение, освещение должно раскрывать психологический смысл пьесы.

У театрального освещения богатая история, долгое время источниками освещения служили факелы, свечи и масляные лампы. Свет, в том виде, в котором его привычно видеть зрителю, появился в театре лишь в 1849 году. В парижском театре Grand Opera был применен дуговой прожектор для создания эффекта восхода солнца и пожара. Свет был окрашен с помощью шелкового светофильтра. С этого момента началось стремительно развитие электрического освещения на сцене.

В начале 20 века свет служил уже не просто для обозначения определённого явления или для акцентирования внимания зрителя на чем-то, свет стал отдельным элементом, формирующим цельную композицию. Осветители стремились к реализму на сцене. В случае отсутствия каких-либо конкретных указаний по освещению, оставленных автором, анализировался текст в целом, логика развития действия, мизансцена, изучались особенности эпохи, в которой разворачивается действие. Благодаря этому формировался общий свет, однако осветители не останавливались на этом. Поскольку они стремились к реалистичному освещению, дорабатывались основные нюансы, добавлялись тени от ветвей деревьев, блики, свет из окна и т. п. Осветители создавали и развивали самостоятельную картину. Всё это привело к появлению потребности в более богатой цветовой палитре.

Желатиновые фильтры имели богатую цветовую гамму, что привело к проникновению на театральную сцену импрессионизма. Импрессионизм вообще и сценический, в частности, требуют от художника не воспроизведения действительности, а передачи своих впечатлений, ощущений от нее, что в корне отличается от стремления к натуралистичному освещению, популярному на тот момент. Американский архитектор, писатель, сценограф и художник по свету Луи Гартман считал, что у зрителя нет потребности в столь реалистичном освещении, в таком количестве нюансов. В световой композиции импрессионистов свет не был логически обоснован и согласован с замыслом спектакля. Свет должен был быть отвлеченным и непосредственным. Он не должен быть конкретным, но и вступать в противоречие с естественным тоже не имеет права. Глобализация разрушает сложившиеся представления о театре. Таким образом, если в начале 20 века ключевым было правдоподобное отражение действительности, то к середине 20 века реалистичность уступает место абстрактному, метафизическому представлению.



Впоследствии, благодаря произошедшим переменам, 21 век стал инновационным, представление о искусстве сценографии сильно изменилось. Глобализация указала на необходимость внедрения технологий, ориентированных на создание визуальных образов. Начали появляться различного рода сценографические решения, использующие современные технологии. Появилась потребность в световых технологиях, которые стали бы средством достижения художественной выразительности. В частности, возросла потребность в совершенном цветном освещении. В случае с статичными приборами использовались светофильтры, представляющие собой тонкие стеклянные или пленочные пластины, окрашенные в определенные цвета. Пластины изготавливались из различных материалов. Стеклянные фильтры часто лопались вследствие нагревания, желатиновые и ацетилцеллюлозные были мало светопрочными и часто выгорали за несколько часов работы, кроме того, смена цвета и интенсивности производилась вручную, следовательно, появилась потребность в интеллектуальном свете, который настраивается по сигналу через пульт.

В нынешнее время существует немало аналогов интеллектуального света под разные потребности. Было рассмотрено несколько аналогов: Лира Comandor, скроллеры Slim XT, прожекторы Alchemy 5 от DTS, TM IMLIGHT, благодаря которым был сформулирован перечень требований к цветному освещению в рамках камерного театра и малых сцен. Прибор должен быть динамичным, с плавными движениями, низким уровнем шума, возможностью изменения размера цветового пятна, защищен от попадания пыли, возможность смены цвета луча, должна присутствовать возможность работы с теплыми и холодными тонами, объект должен быть компактным и переносным, свет не должен давить на зрителя и раздражать его, не должен ослеплять, но должен хорошо освещать.

Поскольку сцена малая, свет должен быть управляем дистанционным способом. Основная проблема заключается в сложном управлении. Пульты управления имеют большое количество переключателей, не всегда интуитивно понятных пользователю. Следовательно, необходимо учитывать эргономику расположения определенных элементов и зоны досягаемости пользователя, сократить количество визуального шума на рабочей поверхности.

### **Список литературы**

1. Антонова О.А. Техника и технология современной сцены: учебно-методическое пособие / О.А. Антонова. – Санкт-Петербург: СПбГУСЭ, 2007. – 78 с.
2. Исмагилов Д.Г., Древалёва Е.П. Театральное освещение / Д.Г. Исмагилов, Е.П. Древалёва. – Москва: ЗАО «ДОКА Медиа», 2005. – 361 с.
3. Гудкова Н.В. Сценический свет как компонент художественной выразительности спектакля: основные этапы становления свет. – Текст: электронный // Вопросы театра. – 2010. – № 1–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stsenicheskiy-svet-kak-sredstvo-hudozhestvennoy-vyrazitelnosti-spektaklya-osnovnyye-etapy-stanovleniya> (дата обращения: 30.09.2023).
4. Бобровская М.А., Галкин Д.В., Самеева В.С. Новые информационные технологии в современной сценографии / М.А. Бобровская, Д.В. Галкин, В.С. Самеева. – Томск: ТГУ, 2013. № 7.
5. Волькенштейн А., Соколов А., Бойцов Н. В помощь театральному осветителю: справочная книга / А. Волькенштейн, А. Соколов, Н. Бойцов. – Государственное издательство: Искусство, 1941. – 336 с.

## ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА РОССИЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

*Симанович Е.Е., студент 3 курс, гр. 8Д11*  
*Кухта М.С., научный руководитель, д. филос. н., профессор,*  
*НИ ТПУ, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,*  
E-mail: ees27@tpu.ru

В настоящее время космическая отрасль является одной из наиболее перспективных для развития. Пребывание человека на космической станции дает возможность проводить множество сложных исследований, более полно изучать вопросы, касающиеся климата и природы Земли, строения материи и Вселенной. Такая работа неизбежно требует непосредственного контроля человека, как и сама космическая станция нуждается в его присутствии для поддержания ее функционирования наилучшем виде.

Главной проблемой данного исследования является тот факт, что несмотря на то, что к разработке космической станции прикладываются огромные ресурсы и усилия, ее внутреннее устройство гораздо более ориентировано на ее технический функционал, чем на длительное нахождение человека внутри.

Цель исследования – определить способы улучшения жизненных условий экипажа Российской космической станции.

Работа космонавта на станции сопряжена с большим количеством стрессов, вытекающих непосредственно из условий работы. Среди основных особенностей работы космонавта выделяют непрерывность его нахождения на рабочем месте, обязательный характер работы, сложности адаптации, как физической, когда телу необходимо привыкнуть к условиям невесомости и значительным снижением физических нагрузок, так и психологической, к трудностям которой можно отнести как длительное пребывание на одной небольшой территории с постоянным, ограниченным количеством человек, так и то, что космонавт находится в стрессе от масштаба ответственности, возлагаемой на него и всех сопряженных с ней рисков. Кроме того, большое влияние на человека оказывает ограничение сенсорной нагрузки, так как цветовая палитра космической станции достаточно ограничена, как и разнообразие звуков и режимов освещения [1].

Несмотря на габариты космической станции, внутреннее ее пространство крайне ограничено. При организации помещений таких размеров невозможно пользоваться правилами и решениями, разработанными для помещений стандартных и больших объемов. Основой проектирования минимальных пространств являются антропометрические показатели предполагаемых пользователей.

При разработке пространства обычно используются два типа размеров – статические и динамические. Те и другие измеряются при неподвижном состоянии человека, однако статические размеры являются линейными и включают в себя габариты отдельных частей и всего тела в целом, а динамические характеризуют размеры тела при совершении действий (обычно это углы вращения суставов рук, ног и т. д.). Угловые размеры определяют также границы зон досягаемости, в пределах которых человек может осуществлять деятельность, не меняя дислокации. Размеры, учитывающие максимальный размах рук при их подъеме вверх и разведении в стороны помогают определить минимальный объем свободного пространства, пригодный для комфортного нахождения в нем человека. Условная модель минимально комфортного пространства для человека представлена на рис. 1. Не зависимо от того, в какой позе будет находиться пользователь в итоге, эти размеры рассчитывают от положения стоя [2].

Кроме учета необходимого человеку комфортного пространства важным аспектом является и нейтральная поза тела человека в условиях невесомости, представленная на рис. 2. Такая поза отличается от нейтральных поз в условиях земной гравитации, что значительным образом сказывается как на физиологических процессах, проходящих в теле человека, так и на расположении наиболее комфортных зон видимости и досягаемости. Этот факт необходимо учитывать при проектировании интерьера космической станции,

так как от него зависит расположение объектов, с которым будет вынужден взаимодействовать космонавт [3]. Кроме того, условия невесомости предполагают наличия дополнительных вспомогательных средств для более комфортного перемещения космонавта в пространстве.

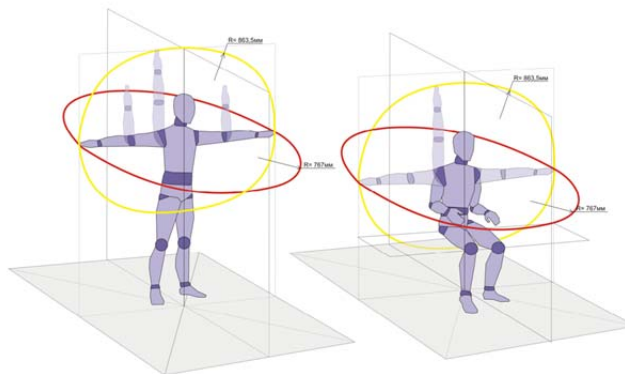


Рис. 1. Модель минимального комфортного пространства человека

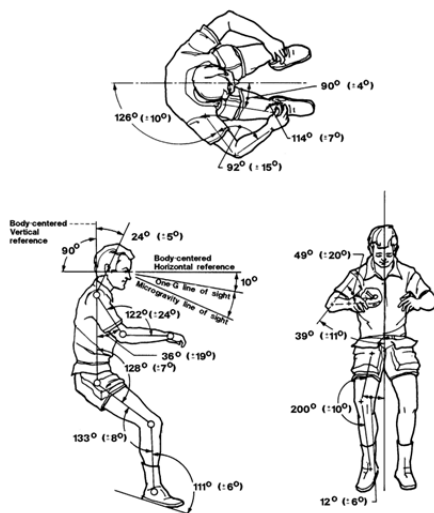


Рис. 2. Нейтральное положение тела человека в невесомости

Не менее важным аспектом организации интерьера космической станции является создание определенных световых и звуковых сценариев и цветовых пространств. В отличие от естественных земных условий, когда окружающее человека пространство наполнено сложными комбинациями звуков и цветов и имеет изменяющуюся структуру освещения, интерьер космической станции кажется достаточно скудным в этом плане. Такое ограничение потока сенсорной информации может негативно сказываться на самочувствии и здоровье человека. Комбинации света и звука не просто создают приятную атмосферу, они неразрывно связаны с биологическими ритмами человека. Постоянное монотонное освещение космической станции со временем приводит к утомлению как всего организма в целом, так и зрительного анализатора в частности. Отсутствие разнообразия и динамики цвета также негативно сказывается на психике космонавтов [4].

Говоря об интерьерах космических кораблей, нельзя не упомянуть о человеке, который впервые создавал таковые еще в Советском Союзе.

В 1963 году в космических кораблях впервые появился жилой отсек, предназначенный для более-менее длительного пребывания человека в нем. Первые конструкторские решения носили чисто технический характер и для комфортного нахождения космонавта в них не годились, вследствие чего были отклонены. Работу над интерьером жилого отсека поручили Галине Андреевне Балашовой. Она разработала проект, основываясь на внешнем виде привычных всем домашних интерьеров того времени: стилизовала элементы под сервант, кресла, диван и т. д. Внешний вид проекта представлен на рис. 3.

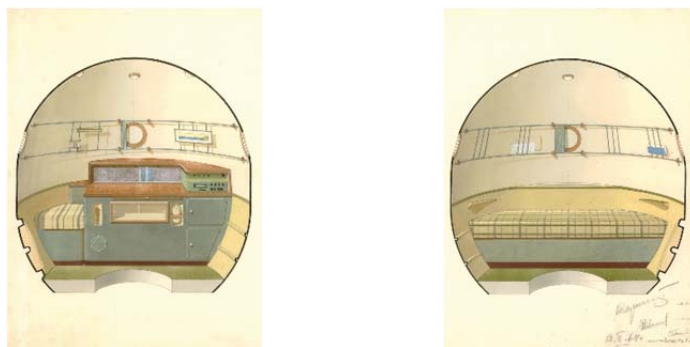


Рис. 3. Окончательный проект интерьера орбитального отсека корабля «Союз» (1964)

При работе над своими проектами Галина Балашова также выявила, что, хоть в невесомости таких понятий, как «верх» и «низ» фактически не существует, они все еще так или иначе должны быть обозначены в интерьере отсеков. Такой нюанс связан в первую очередь с особенностями подготовки космонавтов, а также с габаритами и конфигурацией интегрируемого в пространство оборудования.

Кроме технических и организационных решений, Галина Балашова предлагала множество дизайнерских нововведений, делающих внутреннее пространство космических кораблей гораздо более приятными для человека. Она использовала в своих проектах достаточно светлые оттенки, компенсирующие недостаток освещения в отсеках, предлагала различные варианты тканей для обивки

Таким образом, для комфортного пребывания космонавта на борту российской космической станции необходимо учитывать ряд основополагающих факторов. Важно организовать пространство таким образом, чтобы сохранить минимальный объем личного пространства отдельного человека и согласовать расположение всех элементов взаимодействия с зонами видимости и досягаемости человека и с его нейтральной позицией, характерной для невесомости. Необходимо также сохранить для человека возможность оценивать свое положение в пространстве посредством цветовых и конструкторских решений, так как в условиях невесомости космонавту гораздо сложнее ориентироваться во внутреннем объеме помещения отсека.

Так как в космосе человек не имеет доступа к привычным световым сценариям, а цвета и звуки ограничены, нужно проектировать интерьер таким образом, чтобы восполнить недостатки сенсорной информации. Для этого могут быть использованы как источники света с различной цветовой температурой, так и другие конструкторские решения. В целом, несмотря на огромный спектр технических функций космического корабля в целом и его отдельных элементов, его интерьер все еще должен оставаться дружелюбным к человеку, вынужденному длительное время пребывать в нем. Гуманное, человекоориентированное проектирование интерьера космического корабля необходимо, чтобы минимизировать стресс космонавта и негативные факторы, влияющие на его физическое и психоэмоциональное здоровье, а также повысить его работоспособность.

### Список литературы

1. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учебник / В.М. Мунипов, В.П. Зинченко. – Москва: Логос, 2001. – 356 с.
2. Колосова И.И., Шкиро Е.А. Эргономика минимальных пространств / И.И. Колосова, Е.А. Шкиро. – Томск: Вестник ТГАСУ, 2011. № 4.
3. Mount F.E. Evaluation of neutral body posture on shuttle mission STS-57 (SPACENAB-1) / F.E. Mount, M. Whitmore, S.L. Stealey. – Text: electronic // NASA TM-2003-104805. – 2003.
4. Мельников Л.Н. Дизайн космического корабля / Техническая эстетика, 1992. № 7.

## НАСТЕННОЕ ПОДЪЁМНОЕ УСТРОЙСТВО

Моховиков Д.А., студент гр. 5021

Шутяев В.С., студент гр. 5021

Научный руководитель: Соколов А.П., к.т.н., доц.

НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vss89@tpu.ru

Аннотация. Исследование посвящено разработке консольного поворотного подъемного устройства. Проведён патентный поиск аналогов. Показано, что разработка концепта подъемного устройства зависит не только от эксплуатационных требований, но и от имеющихся ресурсов для его изготовления.

Цель исследования: на основе анализа аналогов консольных подъемных устройств разработать вариант с минимальными затратами и с учётом имеющихся ресурсов.

В условиях ограниченности средств и отсутствия подходящих решений для наших ресурсов и задач, было решено рассмотреть различные вариации консольных подъемных устройств и спроектировать подходящее.

Подъемные устройства предназначены для удержания и перемещения в пространстве различных грузов. В зависимости от требований, формулируемых для подъемных устройств, различаются и их конструкции. Необходимо было выявить тенденцию в разработке подъемных устройств. Для анализа была выбрана патентная литература, так как содержащаяся в ней информация удобно структурирована. Был проведён патентный поиск по теме «Консольные поворотные подъемные механизмы». Результаты патентного поиска отражены на рис. 1.

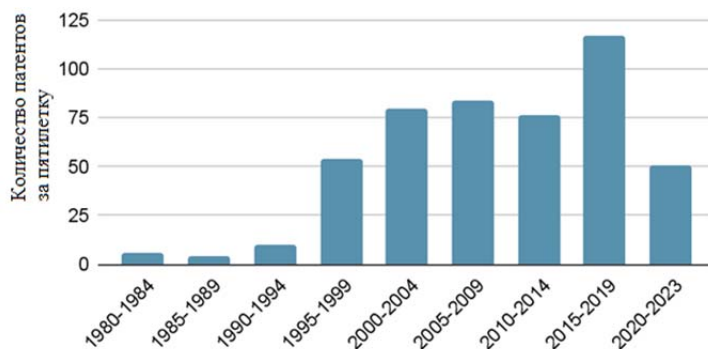


Рис. 1. Количество патентов на консольные поворотные подъемные механизмы

Как видно из данного рисунка, количество патентов на интересующую нас тему постоянно возрастало, что подтверждает актуальность нашей работы.

Было дано задание – разработать подъемное устройство, исходя из имеющихся ресурсов и аналогов, применяемых в ТПУ. Был проведён анализ применяемых в ТПУ подъемных устройств. В основном это кран-балки с ручным и механизированным приводом, а также консольные поворотные подъемные механизмы с ручным приводом. На рис. 2 представлен наиболее часто применяемый консольный поворотный подъемный механизм с ручным приводом.



Рис. 2. Консольный поворотный подъемный механизм с ручным приводом:

1 – стойка; 2 – стрела; 3 – крюк



В ТПУ широко применяются подобные устройства. Основу конструкции составляет ферма, которая облегчает стойку и поворотную стрелу. Это самый простой вариант устройства. Подъем осуществляется вручную, с фиксацией с помощью храпового механизма. Перемещение крюка по горизонтали также приходится осуществлять вручную. Основные недостатки такого грузоподъемного механизма: отсутствие механизированного привода и отсутствие перемещения груза вдоль стрелы.

Учитывая указанные недостатки и в соответствии с заданием на проектирование, был проведен анализ существующих грузоподъемных механизмов. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Краны консольные поворотные имеют много вариантов исполнения, однако, их можно привести к трём основным схемам, которые отличаются друг от друга креплением к основанию или подвижностью основания.

Таблица 1

*Вариант классификации подъёмных устройств*

Модель	Преимущества	Недостатки
 <p><i>Кран-балка межопорная [1]</i></p>	<p>Надежность и долговечность. Рабочая зона охватывает всё пространство обслуживаемого помещения</p>	<p>Ограниченные варианты транспортных потоков. Требуется синхронизация приводов на двух опорах</p>
 <p><i>Кран-балка консольная [2]</i></p>	<p>Большая вариативность транспортных потоков</p>	<p>Требуется усиление стены, к которой крепятся направляющие элементы опор кран-балки</p>
 <p><i>Кран консольный поворотный [3]</i></p>	<p>Простота конструкции. Большая вариативность транспортных потоков</p>	<p>Необходимость в 2-х электроприводах: для подъёма и перемещения по стреле</p>

На рис. 3 представлен настенный консольный поворотный кран. Основное его преимущество – малый вес по сравнению с аналогами. Однако, в этом варианте предъявляются повышенные требования к прочности стены.

На рис. 4 представлен напольный консольный поворотный кран. Такой кран проще в изготовлении и монтаже за счёт использования трубы-колонны. Этот вариант имеет больший вес по сравнению с настенным консольным поворотным краном.

На рис. 5 представлен мобильный консольный поворотный кран. Этот кран имеет большую площадь обслуживания по сравнению с настенным и напольным вариантами. Однако, данный вариант имеет массивное основание, что требует оснащения его приводом перемещения основания.


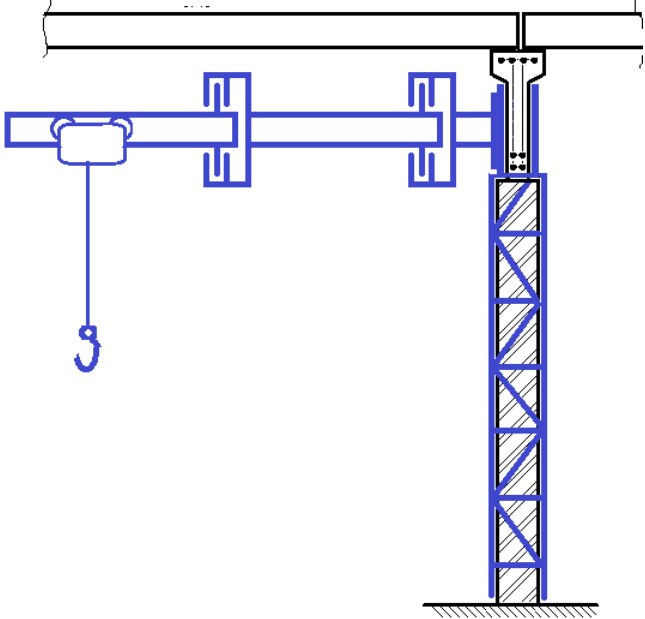
		
<p><i>Рис. 3. Настенный консольный поворотный кран [3]</i></p>	<p><i>Рис. 4. Напольный консольный поворотный кран [3]</i></p>	<p><i>Рис. 5. Мобильный консольный поворотный кран [3]</i></p>

Варианты (настенный и напольный) консольного поворотного крана с неподвижным основанием усовершенствованы за счёт складывающейся стрелы (рис. 6). Такой вариант позволяет обойтись без привода перемещения груза вдоль стрелы.



*Рис. 6. Консольный поворотный кран со складывающейся стрелой [3]*

Проведя анализ существующих грузоподъёмных устройств, авторы остановились на варианте – консольный поворотный кран со складывающейся стрелой. Однако, этот вариант требовал доработки с учётом условий его монтажа возле кирпичной колонны. Ситуативный план представлен на рис. 7, а на рис. 8 представлен концептуальный проект.

	
<p><i>Рис. 7. Позиция для установки крана</i></p>	<p><i>Рис. 8. Концептуальный проект</i></p>



## **Заключение**

После проведенного исследования мы пришли к выводу, что подходящим вариант исходя из наших ресурсов – это консольный кран, закрепленный за кирпичную колонну. Из преимуществ, повлиявших на выбор именно этого варианта, можно отметить низкую стоимость, наличие необходимых материалов, перемещение по 2-м направлениям, безопасность и компактность конструкции.

## **Выводы**

1. Патентные исследования показали, что развитие подъемных устройств идёт в направлении адаптации их к транспортным системам.

2. Проектирование конструкции подъемного устройства зависит не только от эксплуатационных требований, но и от имеющихся ресурсов для его изготовления.

3. При проектировании подъемного устройства для нестандартных условий эксплуатации предпочтительнее в его конструкции использовать фермы, а не монолитные детали.

## **Список литературы**

1. Кран-балка межопорная // Мостовые краны: сайт. – 2020. – URL: <https://irkutsk.kranbalka124.ru/assets/template/img/catalog/kran-balki2.jpg>.

2. Кран-балка консольная // Краны «CarlStahl» : сайт. – 2020. – URL: [https://kranbalki.ru/uploads/posts/2020-11/1605681904\\_5.jpg](https://kranbalki.ru/uploads/posts/2020-11/1605681904_5.jpg).

3. Кран консольный поворотный // Поворотные краны: сайт. – 2020. – URL: <https://stal.ru/upload/iblock/3a8/4a4u1pognrvoxq71ad9i3otj9gehosrz.jpg>.

## ЦВЕТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ТВОРЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

*Будницкая А.И., Окороков Е.А.  
НИ ТПУ, ИШНПТ*

Комфорт и эмоциональное состояние студентов играют важную роль в образовательном процессе, поскольку оказывают прямое воздействие на их работоспособность.

Цвет является мощным средством передачи информации, фактором, влияющим на восприятие среды субъектами образовательного процесса.

Следовательно, можно говорить об отдельном поле образовательной среды, обладающим определёнными педагогическими характеристиками и свойствами. Естественные науки накопили большой экспериментальный материал о влиянии цвета на организм человека. Цвет является одним из важнейших элементов чувственно-вербальных ассоциаций, позволяющих человеку выстраивать собственные системы смыслов и значений.

Необходимо исследовать существующие мнения о воздействии цвета на физическое и эмоциональное состояния человека и выявить наиболее значимые аспекты в выборе цветового решения для аудиторий творческой направленности обучения.

Повышение эффективности обучения можно осуществить с помощью создания благоприятной психологической обстановки, за счет грамотно подобранного оформления помещения. Каждый цвет имеет свои характеристики поглощения и отражения. Цвета существенно влияют на нашу психику и на весь организм. Доказано, что существует связь энергетического поля человека с влиянием на него определенных цветов.

Психологическое восприятие цвета зависит не только от его тона, но и от различных оттенков, сочетания с цветами, расположенными рядом, а также от количества определенного цвета в интерьере.

Существуют различные мнения по влиянию разных цветов на психологическое состояние человека.

Невозможно дать однозначную оценку восприятия каждого цвета, так как в первую очередь оно зависит от индивидуальных ассоциаций, на которые могут повлиять такие факторы как пол, возраст, менталитет, личные предпочтения, профессия, накопленный опыт.

Рассмотрим влияние основных цветов на физиологию человека:

Красный (625–740 нМ) – повышение пульса и работоспособность, ощущение теплоты, активизирует, стимулирует психические процессы, повышает физическую работоспособность (На короткое время увеличивает мышечное напряжение (допинг), повышает давление и ускоряет ритм дыхания), заряжает энергией мышцы и печень. Активное разбавление белым смягчает его воздействие. В сочетании с сине-зеленым стимулируют работоспособность. Длина волны самая большая, поэтому его влияние максимально. Противопоказан полным людям, плохо воздействует на гипертоников, нервных людей, рыжеволосых. Не рекомендуется при воспалительных процессах, т. к. он еще больше их активизирует.

Оранжевый (590–625 нМ) – тонизирующий, повышает аппетит, способствует омоложению, раскрепощению, укрепляет волю, освобождает от чувства подавленности. Укрепляет легочную ткань, обладает антиспазматическим свойством, улучшает кровообращение и цвет кожи, но избыток оранжевого может вызвать перегрев организма (т.е. он более тепловой чем красный).

Жёлтый (565–590 нМ) – наименее утомляющий, активация мозговой деятельности и концентрации, стимулирует зрение и нервную деятельность, активизирует двигательные центры, вызывает радостное настроение, генерирует энергию мышц, используется для лечения диабета, при нарушении пищеварения, для исправления косоглазия, косорукости. В лечебной практике медитация желтого стимулирует интеллектуальные способности, восполняет минеральный недостаток, снижает кислотность в организме. Лучше использовать в небольших количествах, избыток желтого цвета порождает излишнюю алчность.

Зелёный (500–565 нМ) – уменьшает кровяное давление, расширяет капилляры, успокаивает и облегчает мигрень, повышает мышечную работоспособность на долгое время. Воздействует противоположно красному. Оказывает освежающее и одновременно успокаивающее действие на организм, проявляет антисептические свойства, рекомендуется при лечении нервной сердечно-сосудистой системы, астме, бессонницы.

Голубой (485–500 нМ) – успокаивающий цвет, снижает мышечное напряжение, понижает кровяное давление, успокаивает пульс, замедляет ритм дыхания, понижает температуру тела, освежает, настраивает на терпение, снижает аппетит, успокаивает боль, обладает жаропонижающим антисептическим действием, помогает при бессоннице, нервных расстройствах.

Синий (440–485 нМ) – замедление пульса, успокаивающее действие переходит в угнетающее, способствует торможению функций физиологических систем человека, обладает антисептическими и бактерицидными свойствами, содействует росту, лечит отеки, ожоги, облысение, ревматизм, головную боль, воспаление глаз. Рекомендуется в терапии для эмоциональных и нервных людей. Длительное воздействие синего может вогнать в депрессию.

Далее рассмотрим смешение цветов.

Сине-зеленый и красный цвета в сочетании стимулируют общую работоспособность.

Сочетание желтого или желто-зеленого с оранжевым снимают умственное утомление.

Желто-зеленые цвета (лимонный и другие) снимают психическое и интеллектуальное напряжение и усталость. Они рекомендуются, когда требуется тонкое восприятие, проявление фантазии. Эти цвета благотворно влияют на творческую деятельность, усиливают ее.

Для аудиторий и библиотек хороши разнообразные оттенки жёлтого, они активизируют мозговую деятельность и способствуют концентрации. Для коридоров подходит зелёный, тонизирующий оранжевый будет уместен в спортзале, а студенческой столовой подойдут улучшающие аппетит тёплые оттенки бежевого, розового и оранжевого. Было установлено, что каждый цвет способствует созданию определённого психологического состояния. Так же установлено, что уравновешенная в цветовом отношении среда привлекает, создаёт творческую атмосферу, успокаивает и улучшает работоспособность студентов.

Я предлагаю совместить два приема по организации цвета в учебном помещении: цвет как эмоциональный компонент восприятия, чтобы создать необходимое настроение, и цвет как средство организации среды, разделить пространство на различные функциональные зоны, правильно распределить акценты.

Таким образом, оптимально подобранное цветовое решение в интерьере учебной аудитории помогает студентам самостоятельно решать различные творческие задачи, концентрироваться на необходимой в процессе обучения информации.

Применение методики реализации цветовых алгоритмов в среде обучения позволяет реализовать внутренний потенциал студента, что в свою очередь приводит к качественным результатам.

### **Список литературы**

1. Базыма Б.А. Психология цвета: Теория и практика. – М.: Речь, 2005.
2. Люшер М. Оценка личности посредством выбора цвета. – М.: «ЭКСМО–Пресс», 1998. – 156 с.

# ВЛИЯНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАТОРА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И СОЗДАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Сидоренко А.А., Ван Шэнчжень  
НИ ТПУ, ИШНПТ*

Благодаря развитию промышленности широкое применение находят станки для выполнения различных операций, связанных с обработкой металла. В независимости от современности оборудования и его возможностей по обработке деталей, требуется участие человека – оператора. Обычно не уделяется внимание особенностям операторов, которые в дальнейшем будут осуществлять работу. Поэтому во время проектирования станков или их модернизации, необходимо обратить внимание на рост оператора, так как на одном и том же оборудовании могут работать люди разного роста.

Средний параметры роста у операторов в разных регионах мира:

- в России средний рост мужчины примерно 176–177 см, женщины 165 см;
- в Китае 170 см у мужчин, 161 см у женщин;
- в Европе 179 см у мужчин, 168 см у женщин.

В большинстве случаев промышленного производства операторы работают со станками стоя. Стоя за станком, оператор может лучше наблюдать за производственным процессом, свободно перемещаться и быстрее реагировать на нестандартные ситуации. Поэтому мы согласны с тем, что лучшая рабочая поза – стоя. Конечно, бывают и особые ситуации, требующие, чтобы оператор управлял машиной сидя. Рабочая поза определяется характером операции и положением консоли на станке.

Однако неудобные рабочие позы могут снижать эффективность работы оператора, повышать утомляемость, а также нести потенциальную опасность и даже вызывать некоторые профессиональные заболевания.

Соотношение между высотой станка и ростом оператора в современном производстве может варьироваться в зависимости от конкретного станка и конструкции производителя. Однако, как правило, высота токарного станка обычно регулируется в соответствии с ростом оператора, что обеспечивает удобную и безопасную работу.

Возможны несколько вариантов решения проблемы рабочих разного роста, работающих на промышленном оборудовании, рассчитанном на человека среднего роста. Вот несколько вариантов:

**1. Оборудование с регулируемой высотой:** Одно из решений состоит в том, чтобы сделать оборудование регулируемым по высоте, чтобы на нем могли работать работники разного роста. Например, станок с ЧПУ может иметь регулируемую платформу или табурет, который рабочий может использовать для регулировки своего роста до более удобного уровня. Это потребует некоторых инвестиций в модернизацию оборудования, но в конечном итоге может привести к созданию более комфортной и продуктивной рабочей среды.



Рис. 1. P1000. 5-ти осевой обрабатывающий центр с ЧПУ (<https://sdelanounas.ru/blogs/23859/>)

**2. Эргономичное оборудование.** Еще, одним решением является модернизация оборудования, чтобы сделать его более эргономичным, с функциями, которые могут подходить для рабочих разного роста. Это могут быть регулируемые элементы управления, подножки или подлокотники, которые можно настроить в соответствии с потребностями отдельных работников. Опять же, это потребует некоторых инвестиций в модернизацию оборудования, но может привести к созданию более комфортной и продуктивной рабочей среды.



*Рис. 2. Многошпиндельные токарные автоматы производства INDEX (<http://st.expert/katalog/stanki-i-agregaty/TRAUB.html>)*

**3. Табуретки или платформы-стремянки.** Более, низкотехнологичное решение состоит в том, чтобы предоставить работникам табуретки-стремянки или платформы, которые они могут использовать для доступа к слишком высокому для них оборудованию. Это относительно недорогое решение, которое можно быстро внедрить, но оно может быть не таким удобным и эффективным, как другие варианты.



*Рис. 3. платформы-стремянки для станков (<https://item.taobao.com>)*

**4. Чередование смен.** Если разница в росте между работниками достаточно значительна, чтобы вызвать дискомфорт или проблемы с безопасностью, другим решением может быть чередование рабочих между разными машинами или разными задачами, чтобы каждый работник мог выполнять задачи, которые лучше подходят для его роста. Это потребует некоторого планирования и координации, но в конечном итоге может привести к более эффективной и безопасной рабочей среде.

В целом существует несколько возможных вариантов решения проблемы рабочих разного роста, работающих на промышленном оборудовании, рассчитанном на людей среднего роста. Безусловно, правильно то, что при решении проблемы людей разного роста, работающих на станках, важно уделять первоочередное внимание безопасности и комфорту работников. Вкладывая средства в регулируемое оборудование, предоставляя табуретки или платформы, меняя рабочих и проводя обучение, работодатели могут помочь обеспечить безопасное и комфортное управление оборудованием всеми работниками. Наилучшее решение будет зависеть от конкретных потребностей и ограничений рабочего места, а также от бюджета, доступного для модернизации или модификации оборудования.

**СЕКЦИЯ 8**  
**НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ**

## ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ ОДНОУРОВНЕВЫХ ТРАМВАЙНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

*Красильников П.А.<sup>1</sup>, Роменский Д.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Аспирант 4 года обучения кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» ИУЦТ, (Российский университет транспорта (МИИТ)),*

*E-mail: spjasshka@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*к. т. н., доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» ИУЦТ, (Российский университет транспорта (МИИТ)),*

*E-mail: dimeromy@yandex.ru*

Совмещение или пересечение трамвайной инфраструктуры с железнодорожной в настоящий момент является довольно актуальной проблемой сразу в рамках нескольких трендов, наблюдающихся в Российской Федерации и за рубежом. Первый тренд – совмещение и смешение стандартов рельсовой инфраструктуры в интересах пассажирских перевозок, появление таких видов транспорта, как легкорельсовый транспорт (ЛРТ) или трам-трейн [3], либо совмещающих в себе трамвайные и железнодорожные стандарты, либо использующие для движения по маршруту и трамвайную и железнодорожную инфраструктуру.

Второй тренд – увеличение гибкости нормативов на пересечения с железнодорожной инфраструктурой в одном уровне [1, 2, 4]. Магистральные железные дороги и подъездные пути имеют совершенно разный характер движения подвижного состава (скорость, интенсивность) и, соответственно, различные требования к безопасности. Тем не менее, в действующих нормативных документах они довольно жёстко унифицированы, что порой приводит к абсурдной невозможности реконструкции уже существующих трамвайных линий и к невозможности строительства новых линий с аналогичными существующим техническими решениями.

Главное техническое различие, делающее актуальным предмет исследования данной работы – это действующие в России стандарты на систему колесо-рельс для железнодорожного транспорта и для трамваев. Различный профиль колеса и рельса обеих систем создаёт ряд трудностей технического характера при оборудовании их пересечения в одном уровне.

В тексте рассмотрены технические аспекты совмещения и взаимодействия друг с другом трамвайной и железнодорожной инфраструктур при пересечениях в одном уровне и совместном движении по одному пути. Найденные решения – первый шаг к разработке новых стандартов для более тесной интеграции систем рельсового транспорта друг с другом.

### **Глухие пересечения**

При пересечении в одном уровне железнодорожных или трамвайных путей, а также при пересечении железнодорожного и трамвайных путей между собой применяются глухие пересечения. Согласно ГОСТ 33535-2015 [6], пересечения глухие (рис. 1) конструкции, предназначенные для пересечения двух путей в одном уровне. В зависимости от угла пересечения подразделяются на прямоугольные и косоугольные.

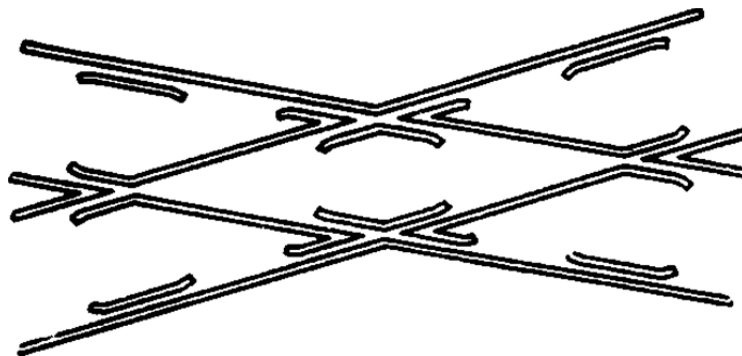
Любое пересечение состоит из четырех крестовин. В прямоугольном пересечении все крестовины одинаковы. В косоугольном пересечении независимо от величины угла две крестовины имеют острые, две крестовины – тупые углы. Особенность тупых крестовин состоит в том, что против них нельзя уложить контррельс и при проходе «вредного пространства» реборда колеса может удариться в сердечник или усовик что повышает износ и снижает безопасность прохода глухого пересечения. В какой-то мере тупые крестовины при проходе колесной пары выполняют друг для друга функции отсутствующего контррельса.

В трамвайных пересечениях тупые крестовины выполняются из желобчатых рельсов (сборные и сварные) или литыми коробчатого сечения. Как и в острых крестовинах, в трамвайных пересечениях устраивается мелкий желоб, допускающий качение на реборде.

Пересечения железнодорожного и трамвайных путей обычно делаются сборно-сварные из стандартных рельсов на сплошном листовом лафете со специальными уголко-



выми и обычными стыковыми накладками, вкладышами и удлиненными контррельсовыми болтами. По трамвайному направлению укладываются желобчатые рельсы с повышенной наплавкой дна желоба, по железнодорожному направлению – рельсы железнодорожного типа и соответствующие им контррельсы (сборные или сварные крестовины) с уширенным (до 55 мм) и углубленным (до 50 мм) желобом. Пересечения железнодорожного и трамвайных путей обычно проектируются индивидуально в отличие от железнодорожных, которые являются типовыми.



*Рис. 1. Трамвайно-железнодорожные глухие пересечения:  
сверху – схема косоугольного железнодорожного пересечения;  
снизу – иллюстрации сварных сборных трамвайно-железнодорожных пересечений*

Как и стрелочные переводы, глухие пересечения имеют свою расчетную эпоху, на которой приводятся значения углов и радиусов пересечения, длины рельсовых отрезков, характеристики тупых и острых крестовин, расстояния между осями брусьев или шпал. Брусья и шпалы в пределах пересечения могут располагаться по направлению, перпендикулярному к оси одного из путей или по биссектрисе угла пересечения [6].

Исходными данными для трамвайных пересечений, применяющихся в основном в составе стрелочных узлов (двухпутных ответвлений), являются радиусы кривых (преимущественно 50, 30, 25 и 20 м) и некоторые данные, характеризующие ответвление в целом [9].

В России продолжает эксплуатироваться ряд пересечений трамвайных линий с подъездными путями промышленных предприятий, примеры которых представлены на рис. 1. С эксплуатационной точки зрения такие пересечения являются местом повышенной опасности и сосредоточением ударных нагрузок (повышенный износ). В связи с этим на обеих инфраструктурах устанавливаются существенные ограничения скорости в зоне глухого пересечения. Особенность современного нормативно-правового поля такова, что обустроить новые одноуровневые пересечения, даже через малодейственные подъездные пути, запрещают отраслевые подзаконные акты железнодорожного транспорта [7]. Но строительство путепроводов в городской черте для таких ситуаций нерационально дорого и не производится. В этой ситуации происходит отказ от многих перспективных планов по развитию трамвайного сообщения городов при возникновении риска пересечения железной дороги.

Согласно пп. 5.18, 5.23 СП 98.13330.2018 (Трамвайные и троллейбусные линии СНиП 2.05.09-90) [9], пересечения железнодорожных линий с трамвайными путями допускаются. Документ ограничивает лишь продольный уклон трамвайных путей, расположенных на пересечении и подходах к нему, а также запрещает пересечения с железными дорогами общего пользования. Пересечения трамвайных путей с подъездными путями промышленных предприятий при этом технически нет препятствий предусматривать в одном уровне. При этом проект должен содержать меры по обеспечению безопасности движения, предусматривать соответствующую сигнализацию и ограждающие устройства.

Требования к железнодорожным глухим пересечениям установлены, помимо рамочных документов (например, СП 119.13330.2017 [8] и подобные), в Распоряжении ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. N 2240р [10]. На железнодорожных пересечениях допускаются как цельнолитые (технически невозможные с трамвайными путями), так и сборные крестовины различных типовых марок. Брусья предусматриваются в основном деревянными, что не противоречит требованиям к трамвайным пересечениям. Стандартное ограничение скорости проследования крестовин – 25–40 км/ч.

### **Разводные одноуровневые пересечения**

Пересечения рельсовой колеи магистральной железнодорожной линии общего пользования с рельсовой колеей узкоколейной железной дороги или с трамвайной линией может быть также выполнено в виде разводного одноуровневого пересечения без обустройства глухого пересечения (рис. 2).



*Рис. 2. Разводное железнодорожное пересечение без обустройства крестовин (Австралия):  
слева – сведенное для пропуска поезда в поперечном направлении;  
справа – разведенное для пропуска в продольном направлении*

Подобных технических решений в России не применяли, однако с технической точки зрения существенных ограничений здесь нет. Сферой применения разводных одноуровневых пересечений может быть множество ситуаций, диктующих необходимость пересечения магистральных, в том числе электрифицированных, железных дорог, с относительно невысокими размерами движения (менее 30 пар поездов в сутки), различного рода рельсовыми или другими транспортными коммуникациями. Разводное пересечение кратко дешевле путепровода в строительстве и при эксплуатации. [5]

На таком пересечении ликвидируется крестовина на магистральной железнодорожной линии и снимаются все технические ограничения на движение поездов [10]. Для пересекающей её рельсовой колеи узкоколейной железной дороги (УЖД) или трамвая такое пересечение аналогично разводному мосту.

С технологической точки зрения оборудование такого пересечения аналогично железнодорожному переезду и должно оборудоваться контролем и средствами централизации и блокировки, объединяющими средства безопасности обеих рельсовых систем.

### **Стрелочные переводы**

Стрелочные переводы, применяемые на железной дороге, технологически несовместимы с трамвайными вагонами по двум причинам: отсутствие желобов в кривой части стрелочного перевода и длинное «вредное пространство» с глубокой выемкой, где трам-

вайнному колесу невозможно катиться на своей короткой реборде. Трамвайный подвижной состав просто съедет с рельсов при попытке проследовать по отклонению (и с высокой долей вероятности поступит также при следовании в прямом направлении).

В свою очередь, трамвайные крестовины также не подходят для проследования железнодорожного подвижного состава, но уже по обратной причине: желобчатые рельсы, применяющиеся на всех кривых участках трамвайных путей, имеют слишком маленькое углубление для высокой реборды железнодорожного колеса.

Решение данной проблемы возможно посредством установки контррельсов с удлиненными контррельсовыми болтами на всем протяжении неподвижных частей железнодорожного стрелочного перевода, по аналогии с обустройством трамвайных путей в кривых согласно п. 5.43 СП 98.13330.2018 [9]. Следует учитывать, что марки железнодорожных стрелочных переводов как правило более пологие, чем трамвайных, что делает их слабо применимыми для установки в уличных условиях. Стрелочные переводы такого типа требуют серьезных ограничений скорости при проследовании «вредного пространства» трамваем (вплоть до 5 км/ч).

Альтернативным решением в дни распространения смешанного трамвайно-железнодорожного движения по сети трамвайных путей СССР являлась наварка уголков с углубленным желобом на стрелочные переводы в деповских условиях, что также создавало возможность направленного движения для колес трамвайного типа на существенной части стрелочного перевода. Стоит учитывать, что движение трамвайных вагонов по путям совмещенного движения было почти исключительно прямоходным, по отклонению проследовали только грузовые вагоны на подъездные пути.

Оптимальным решением было бы внедрение нового стандарта трамвайных колес с увеличенной высотой реборды, допускающей качение по железнодорожной инфраструктуре с ограничением скорости, а также разработка измененного стандарта литых желобчатых стрелочных переводов с увеличенной глубиной желоба. Данные стрелочные переводы были бы необходимы не только для организации движения трам-трейна, но и для укладки их на железнодорожных переездах через подъездные пути в асфальтовое покрытие. За рубежом стандарт увеличенной реборды трамвайного колеса используется на всех системах совмещенного трамвайно-железнодорожного движения, а в ряде трамвайных хозяйств (Чехия, Словакия), в силу исторически сложившихся стандартов. [5]

В статье рассмотрены аспекты применения совмещенных трамвайно-железнодорожных элементов путевой инфраструктуры: трамвайно-железнодорожных крестовин и стрелочных переводов. Доказано, что трамвайно-железнодорожные крестовины не имеют препятствий для изготовления и установки и в целом безопасны в эксплуатации, а трамвайно-железнодорожные стрелочные переводы – возможны для изготовления и ограниченного применения, а с изменением стандарта высоты реборды трамвайного колеса – к полноценному использованию на линиях регулярного совмещенного движения.

### **Список литературы**

1. Бакин А.А. Формирование предложений по организационному и технологическому обеспечению сокращения времени закрытия одноуровневых железнодорожных переездов со шлагбаумом / А.А. Бакин, М.Ю. Соколов, П.А. Красильников // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2021. – № 1. – С. 113–117.
2. Вережкина О.И. Безопасность скоростного, высокоскоростного движения поездов на железнодорожных переездах / О.И. Вережкина, Д.С. Кривеня, Ю.В. Чендрова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 11–16.
3. Николаев К.Ю. Выбор полигона и параметров применения технологии «трамвай-поезд» в России / К.Ю. Николаев // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 5(90). – С. 40–44. – EDN ZPAWCL.
4. Холодов П.Н. Открытие железнодорожного переезда общего пользования на существующих путях в условиях городской застройки / П.Н. Холодов, В.А. Подвербный,

Е.В. Филатов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 2(66). – С. 77–83. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).77-83. – EDN MFVQSK.

5. Вc. David Omaník / Kolmá křížení tramvajových tratí s vlečkami // дипломная работа университета VUT. – Брно; 2018. – 63 с.

6. ГОСТ 33535-2015. Соединения и пересечения железнодорожных путей. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 60 с.

7. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 05.10.2022 № 402 «Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов» (Зарегистрирован 01.02.2023 № 72207).

8. СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм. – Москва; Стандартинформ, 2018. – 40 с.

9. СП 98.13330.2018. Трамвайные и троллейбусные линии. – Москва; Стандартинформ, 2019. – 58 с.

10. Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» от 8 ноября 2016 г. № 2240р. – Москва: издательство РЖД, 2016. – 207 с.

# ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Умарова Б.А.

докторант Торайгыров Университета, г. Павлодар, Республика Казахстан

E-mail: bulbul186@mail.ru

## Аннотация

Статья посвящена разработке и технологической постановке задач разработки инновационной системы эксплуатации автомобилей в Республике Казахстан, за счет организации централизованных специализированных ремонтно-технических предприятий или автосервисов в разрезе конкретных модификаций грузовых автомобилей совместно с производителями.

**Ключевые слова.** Автомобиль, грузоперевозки, эксплуатация, эффективность, прибыль, сервис.

## Введение

Автомобильный транспорт играет большую роль в транспортном комплексе страны, регулярно обслуживая миллионы предприятий, организаций, населения. Ежегодно автомобильным транспортом перевозится более 70 % грузов, транспортом общего пользования – более 65 % пассажиров. Одновременно автомобильный транспорт является основным потребителем ресурсов, расходуемых транспортным комплексом: 66 % топлива нефтяного происхождения, 70 % трудовых ресурсов и 50 % всех капитальных вложений [1].

Как показало исследование существующей системы управления, наименее изученными оказались задачи оперативного планирования. Из теории управления известно, что наиболее сложными и эффективными из задач такого класса считаются задачи оптимизации. С другой стороны, в Казахстане парк грузовых автомобилей коммерческого назначения интенсивно обновляется за счет современных российских, китайских и других зарубежных моделей. При этом владельцы транспортных предприятий осуществляют выбор автомобилей, ориентируясь на престиж марки, наличие тех или иных моделей на рынке, стоимость и т. п. Но в процессе эксплуатации часто оказывается, что такой автомобиль имеет большие по сравнению с конкурентами эксплуатационные затраты, хотя и соответствует требованиям технологического процесса перевозок. В большинстве случаев это связано либо с отказами автомобилей, либо с высокой стоимостью запасных частей, расходных и смазочных материалов.

## Цель работы

Исследование методики для оценки эффективности эксплуатации современных коммерческих автомобилей различного производства и марки, для которых нормативная база в настоящее время отсутствует.

Эффективность эксплуатации автомобилей при осуществлении грузовых коммерческих перевозок для владельца грузовых автомобилей в конечном итоге определяется полученным максимальной прибылью.

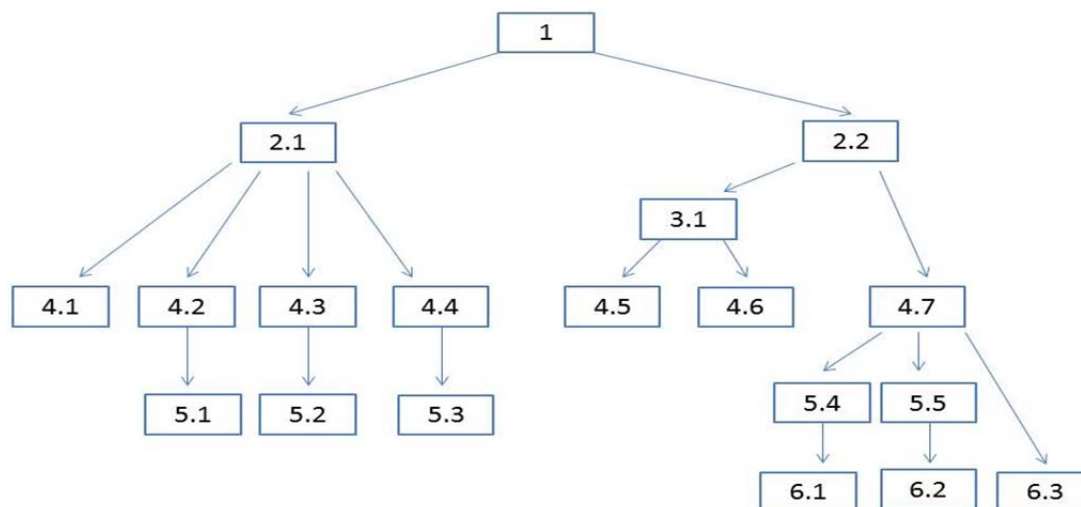
Последняя зависит от эффективности использования автомобилей и себестоимости перевозки груза, зависящих в свою очередь от величины эксплуатационных затрат.

Управление сложной системой с непрерывно меняющимися параметрами отдельных элементов достаточно сложная задача, ее решение стандартными методами оптимизации в производственных условиях в одних случаях не дают положительных результатов, в других требуют больших затрат средств и ресурсов. Поэтому для решения данной задачи нами предложен метод эксплуатационного резервирования на идеи декомпозиции, который позволит решить задачу обеспечения высокого уровня надежности грузовых автомобилей различной марки при относительно небольших затратах.

Эффективно управлять автотранспортным предприятием и перевозочным процессом в рыночных условиях означает полное удовлетворение платежеспособного спроса на пе-



ревозки и снижение транспортной составляющей в конечной цене перевозимых грузов. Все это можно считать общей целью управления. Для выполнения в ней цели оперативного управления предложено (рис. 1) дерево целей.



*Рис. 1. Дерево целей для эффективного управления автотранспортными предприятиями:*  
 1.1 – увеличение прибыли; 2.1 – увеличение доходов; 2.2 – уменьшение финансовых затрат;  
 3.1 – снижение стоимости собственных ресурсов; 4.1 – предложение новых услуг; 4.2 – повышение тарифов на перевозки; 4.3 – привлечение новых клиентов; 4.4 – поддержание доходов на планируемом уровне; 4.5 – снижение себестоимости авточаса; 4.6 – снижение себестоимости человеко-часа;  
 4.7 – снижение затрат собственных ресурсов; 5.1 – соблюдение сроков доставки грузов;  
 5.2 – соблюдение адресов доставки грузов; 5.3 – соблюдение условий погрузки по номенклатуре грузов;  
 5.4 – снижение затрат авточасов; 5.5 – снижение затрат человеко-часов;  
 6.1 – уменьшение коэффициента порожнего пробега; 6.2 – снижение простоя автомобиля;  
 6.3 – снижение трудоёмкости работы персонала АТП

Такие составляющие, как поддержание доходов на планируемом уровне; снижение затрат на подготовку подвижного состава к перевозкам, ремонт и собственно перевозки относятся к обоим уровням сформулированного объекта обслуживания. На основании проведенных исследований установлено, что одной из важнейших проблем, стоящих перед автомобильным транспортом, является повышение эксплуатационной надежности автомобилей. При проведении исследований использовались материалы обследований автотранспортных предприятий не зависимо от формы собственности и принадлежности, научно-технические отчёты о разработке и внедрении технологических процессов и средств механизации для технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей различных марок и производств, а также результаты анкетирования среди водителей большегрузных автомобилей, выполняющих междугородные и международные автоперевозки.

Для повышения эксплуатационной надежности и снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт необходимо, прежде всего, совершенствовать конструкцию и технологию изготовления автомобиля. Решение этой проблемы с одной стороны обеспечивается автомобильной промышленностью за счет выпуска более надежного подвижного состава, с другой – совершенствованием методов технической эксплуатации. К сожалению, это требует создания необходимой базы для поддержания подвижного состава в исправном состоянии, применения прогрессивных ресурсосберегающих технологических процессов технического обслуживания непосредственно в автотранспортных предприятиях. Так как создание оптимальных режимов работы и обслуживания позволит снизить интенсивность изменения технического состояния автомобиля, что, в конечном счете, приведет к увеличению долговечности автомобиля, основным показателем которой является ресурс.

Однако в автотранспортных предприятиях недостаточность собственных оборотных средств не позволяет осуществить должные капиталовложения (инвестиции) на развитие и содержание необходимой технической базы для проведения технического обслуживания и ремонта, а также направлены на замену подвижного состава и оборудования. Обновле-

ние основных фондов является одним из главных факторов эффективности их использования, улучшения качественных характеристик оказываемых услуг и, в конечном итоге, экономического подъема, устойчивого развития индустрии страны. Поэтому в настоящее время необходимо организовать специализированные предприятия с современными подвижными составами и технологическим оборудованием для технического обслуживания и ремонта определенной марки автомобилей.

Основными показателем в определении спектра оказываемых работ и услуг является коэффициентом специализации и рассчитывается по формуле [2]:

$$K_c = \frac{100}{\sum УВ(2i-1)}, \quad (1)$$

где УВ – удельный вес видов услуг, %;  $i$  – порядковый номер удельного веса услуг в ранжированном ряду; 100 – сумма удельных весов услуг отдельных отраслей.

Для чего проводится анализ деятельности автопарка по всем группам подвижного состава вместе и видов оказываемых услуг. При анализе используем такие показатели, как общий и среднесуточный пробег, автомобиле-дни в работе, на предприятии, в ремонте и другие показатели, и коэффициенты, приведенные в табл. 1, а также объемы выполняемых вспомогательными структурными подразделениями автотранспортного предприятия.

Таблица 1

*Показатели работы автопарка*

№	Показатели
1	Перевезено груза, тыс. т
2	Коэффициент использования пробега
3	Общий пробег, тыс. км
4	Среднесуточный пробег, км
5	Подвижной состав
6	Автомобиле-дни на предприятии
7	Автомобиле-дни в работе
8	Автомобиле-дни в ремонте
9	Коэффициент выпуска
10	Коэффициент технической готовности
11	Доход от автоуслуг, тыс. тг.

Производственную программу по эксплуатации АТП рассчитывают, исходя из его производственной мощности и производительности, и выражают в эксплуатационных измерителях. Расчеты ведут по каждой модели автомобилей в отдельности, а затем суммируют по всему парку.

Производственная мощность автопарка определяется автомобиле-днями на предприятии. Исходными данными при ее планировании является среднесписочное число автомобилей с пробегом с начала эксплуатации.

Расчет производственной программы ведется на основании пробега за год. При расчете для уменьшения объема объединили автомобили в технологически совместимые группы [3].

С другой стороны, современные условия эксплуатации автомобилей предъявляют повышенные требования к его техническим и эксплуатационным свойствам. Требования по повышению экономии и улучшению экологичности при использовании горюче-смазочных материалов выходят сегодня на первое место. Оптимизация мероприятий по улучшению работы отдела по техническому обслуживанию и ремонту входит в число главных задач по развитию любого автотранспортного предприятия, поскольку на техническое обслуживание автомобиля затрачивается во много раз больше труда и средств, чем на его производство.

Технический сервис – это комплекс работ и услуг по эффективному использованию техники, и поддержанию их в исправном состоянии в течение всего периода эксплуата-



ции. Эксплуатация изделия включает в себя: использование по назначению, хранение, техническое обслуживание, ремонт. Целью технической эксплуатации машин является поддержание, сохранение и восстановление исправности, работоспособности и ресурса. Она включает выполнение работ по дозаправке машин топливом и смазочными материалами, очистке, регулированию, замене быстроизнашивающихся элементов машин, восстановлению их, проверке и диагностированию состояния машин и составных частей, определению остаточного ресурса, контролю воздействия на окружающую среду, восстановлению изношенных деталей, модернизация машин, находящихся в эксплуатации.

В условиях недостатка и ограниченного обновления подвижного состава на автотранспортных предприятиях существенно возрастает значение ремонтно-обслуживающего производства владельцев машин и всей ремонтно-обслуживающей базы. Однако рост числа автомобилей и повышение требований к безопасности движения и экологической безопасности порождают необходимость совершенствования системы управления техническим состоянием парка автомобилей.

### Результаты исследования

От рациональности и научной организации технического обслуживания и ремонта зависит эксплуатационная надежность и уровень качества предоставляемых услуг. Так как современные экономические условия объективно изменяют отношения между потребителями и поставщиками услуг. Автотранспортные предприятия, в условиях острой конкуренции и эскалации потребности в систематическом совершенствовании технологических процессов, неизбежно стремятся максимально рационализировать и повысить производительность службы технического обслуживания и ремонта автомобилей.

При ремонте грузовиков чаще всего возникает необходимость в ремонте двигателя, подвески, трансмиссии и электронных систем. Понятно, что многотысячный пробег способен привести в негодность даже такие мощные моторы, которые устанавливаются на автомобили ведущих стран мира. Поэтому необходимо повышение эксплуатационной и технической надежности автомобилей, за счет совершенствования организации и повышения уровня технического обслуживания и ремонта на специализированных автотранспортных предприятиях, для дальнейшего экономического развития предприятия и повышения его конкурентоспособности. Для чего составляются специальная технологическая карта автомобилей в зависимости от технического состояния и объема выполняемых работ. Расчет ведется в разрезе конкретными автомобильными марками [4].

Определим и скорректируем межремонтный пробег до капитального ремонта по формуле:

$$L_{KP} = L_{KP}^H * K_1 * K_2 * K_3, \quad (2)$$

где  $L_{KP}^H$  – нормативный пробег до капитального ремонта, тыс. км;  $K_1$  – коэффициент корректирования пробега в зависимости от условий эксплуатации;  $K_2$  – коэффициент корректирования в зависимости от модификации подвижного состава;  $K_3$  – коэффициент корректирования в зависимости от природно-климатических условий.

Грузовые автомобили с давних времен привлекают грузоперевозчиков своей надежностью и повышенным уровнем комфорта, но даже такой автомобильный гигант как Мерседес Бенц рано или поздно ломается. Для того, чтобы за короткие сроки и при минимальных затратах осуществить его ремонт, вы должны знать те автосервисы, в которых он производится. Ведь, ремонт грузового будет отличаться от легкового не только применяемыми запасными частями, но и технологией ремонта. Грузовые автомобили должны обладать повышенной надежностью и устойчивостью к поломкам. Это главное требование для машины, которая предназначена для каждодневного использования в самых суровых условиях.

Для того чтобы быть уверенным в том, что грузовой автомобиль после ремонта будет долгое время служить верой и правдой, он должен ремонтироваться в профессиональ-

ном автосервисе, в котором собрана команда высококвалифицированных специалистов, которые могут работать на самом высоком уровне, имеют специализированное оборудование и современную технологическую базу. Кроме этого, ими должна проводиться разумная ценовая политика и в ассортименте обязательно должен присутствовать широкий ассортимент запасных частей.

### **Выводы**

Необходимо и целесообразно организаций централизованных специализированных ремонтно-технических предприятий или автосервис центров в разрезе конкретных модификаций грузовых автомобилей совместно с производителями в зависимости от их количества и уровни спроса рынка.

### **Список литературы**

1. Годовой отчет Комитета Минтранскома Республики Казахстан. Астана-2012.
2. Миротин Л.Б. Совершенствование эксплуатационной работы автомобильного транспорта. – М.: 2000.
3. Чарнецкий С.А. Экономика автомобильного транспорта. – М.: Высшая школа, 2005.
4. Юдин М.И. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий. – Краснодар: 2007.

## АНАЛИЗ ЧИСТОТЫ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ В БАКАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,

Исаенко П.В., к.т.н., доц.,

Исаенко А.В., к.т.н., доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02

E-mail: isaenko\_pv@mail.ru

Известно, что стандарты [1, 2] не допускают наличия в дизельном топливе механических примесей и ограничивают количество растворенной воды. Однако в реальной эксплуатации машин основная часть отказов дизельных двигателей происходит именно по причине содержания в топливе большого количества механических частиц высокой твердости размером до 80 мкм и выше [3, 4].

Авторами найдено простое техническое решение создания эффективного устройства, обеспечивающего защиту топливных баков от мехпримесей, основанное на гравитационном их осаждении в масляной ванне пылеуловителя (рис.).

Получена формула расчета минимального размера частиц загрязнений, осаждаемых в масляной ванне масляного пылеуловителя (МПУ):

$$d_{\min} = \left( \frac{18 \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot q_{\text{в}}}{g \cdot (\rho_{\text{ч}} / \rho_{\text{в}}) \cdot D \cdot t} \right)^{0,5} \cdot \left[ \left( \frac{h}{D} \right)^2 + \pi^2 \left( \frac{D}{4t} - \frac{d}{D} \right)^2 \right]^{-0,25} \cdot 10^6, \text{ мкм}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{\text{в}}$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $q_{\text{в}}$  – объемный расход очищаемого воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность частиц загрязнения, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – шаг спирали, м;  $d$  – диаметр центральной трубки, м;  $h$  – высота канала, м;  $D$  – внешний диаметр спирали, м.

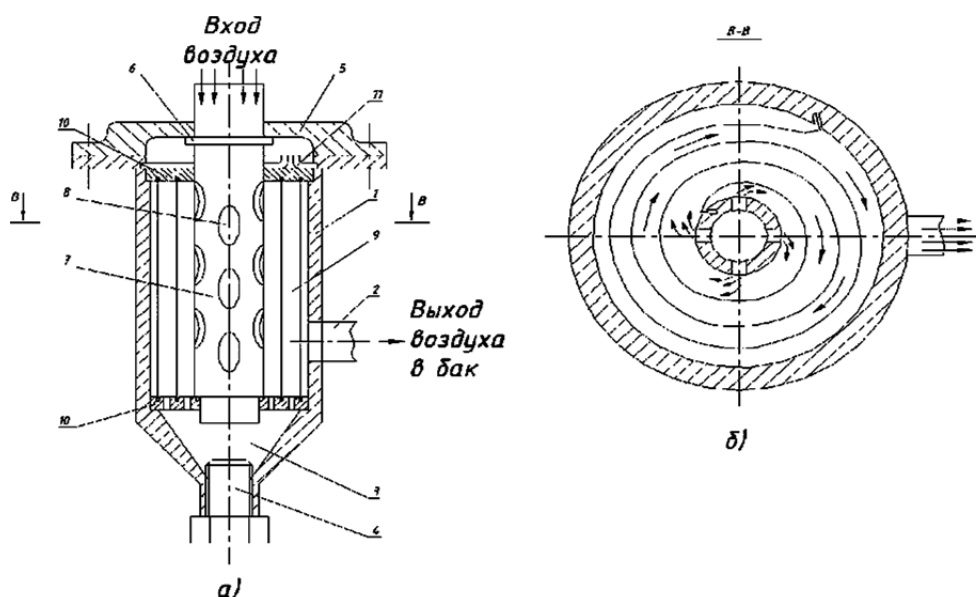


Рис. Масляный пылеуловитель [5]:

а) – сборочный чертеж; б) – вид устройства архимедовой спирали: 1 – корпус;

2 – выходной патрубок; 3 – масляная ванна; 4 – сливная горловина; 5 – крышка;

6 – пояс опорный; 7 – центральная трубка; 8 – отверстия; 9 – металлическая лента-спираль;

10 – шайба опорная; 11 – стопорное кольцо

При заданных конструктивных параметрах МПУ, за основу которого принят корпус штатного фильтра-отстойника, рассчитана тонкость улавливаемых частиц по формуле (1):

$$d_{\min} = \left( \frac{18 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 9,53 \cdot 10^{-6}}{9,8 \cdot (2600/1,2) \cdot 92 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,5} \cdot \left[ \left( \frac{20 \cdot 10^{-3}}{92 \cdot 10^{-3}} \right)^2 + 3,14^2 \left( \frac{92 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} - \frac{20 \cdot 10^{-3}}{92 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \right]^{-0,25} \cdot 10^6 = 4,426 \text{ мкм}.$$

Очевидно, что все частицы размером свыше 30 мкм не будут проникать в топливный бак при «дыхании» системы.

Для достоверности результатов было назначено пять цикловых испытаний по 16 режимов в каждом цикле, отличающихся скоростью и расходом воздуха, регулируемых насосом. Суммарная навеска загрязнителя составила 1211,26 г при разовой от 14,5 до 15,5 г.

Выполнены усеченные эксплуатационные испытания автогрейдеров и автопогрузчиков с серийной системой топливоподачи и с дополнительным масляным пылеуловителем, установленным на топливном баке в качестве «дыхательного» клапана.

Результаты испытаний представлены в табл.

Таблица 1

*Эффективность масляного пылеуловителя*

Показатель	Штатный топливный бак		Бак с установленным МПУ							
	в баке (рабочий режим)*	на входе в ФГО	масляная ванна МПУ		в баке (рабочий режим)*		на входе в ФГО			
Среднее содержание загрязнений, % (масс)	0,0183	0,00767	0,0257		0,0057		0,0034			
Размерная группа частиц, мкм	Содержание частиц загрязнений в размерной группе									
	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%
1–5	11883	35,87	10769	43,96	56	0,26	6454	50,87	3661	62,15
6–10	8162	24,64	6842	29,92	118	0,45	3213	25,33	1249	21,20
11–20	6486	19,58	4068	16,60	2067	7,93	2098	16,54	672	11,41
21–30	4990	15,06	1879	7,67	11151	42,82	844	6,65	259	4,39
31–40	1431	4,32	852	3,48	9542	36,64	66	0,50	43	0,73
свыше 40	771	0,53	87	2,35	3105	11,90	14	0,11	6	0,12
Всего	33723	100	24497	100	26039	100	12689	100	5890	100

\*Пробы отобраны из топлива на среднем уровне топливного бака при его равномерном наполнении.

Анализ результатов указал на резкое, в 3,2 раза, снижение содержания загрязнений в баках машин при использовании МПУ и более чем в 2 раза – на входе в топливный фильтр грубой очистки. При этом счетная концентрация частиц в баке штатной системы составила  $(33...34) \cdot 10^3$  шт./мл и  $(12...13) \cdot 10^3$  шт./мл – с установкой пылеуловителя.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о достаточной эффективности МПУ только за счет защиты топливного бака от попадания в него атмосферной пыли, что полностью отвечает техническим задачам – топливо в баке должно быть чистым.

**Список литературы**

1. ГОСТ 6370–83. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей.
2. ГОСТ 305–82. Дизельное топливо. Технические условия.
3. Удлер Э.И., Исаенко В.Д., Исаенко А.В. Повышение эксплуатационной надежности топливных систем дорожных и строительных машин // Ж. «Механизация строительства». – № 9. – 2006. – С. 11–13.
4. 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.
5. Патент 2257487 РФ / Э.И. Удлер, С.В. Зыков, А.В. Исаенко: опубл. 27.07.2005, бюл. № 21. – 7 с.

## ОЦЕНКА РАБОТЫ СИСТЕМЫ «ДВС – МАСЛО» ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

*Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,  
Исаенко П.В., к.т.н., доц.,  
Исаенко А.В., к.т.н., доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02  
E-mail: isaenko\_pv@mail.ru*

В настоящее время на отечественном рынке находят спрос дизели в исполнении Евро-класса, удовлетворяющие не в пример дизелям КамАЗ-740 требованиям предписаний ГОСТ Р 41.49-99 (Правила ЕЭК ООН № 49) в рамках жестких экологических норм. Для таких дизелей разработана целая серия моторных масел с высокоэффективными присадками, применение которых позволило в совокупности значительно снизить уровень вредных механических примесей, циркулирующих по системе смазки. Видимо это послужило моторостроителям отказаться от частичнопоточной центрифуги в пользу полнопоточного фильтра грубой очистки масла [1]. Наряду с дизелями Евро-класса автопарк все еще насыщен автомобилями с дизелями КамАЗ, не входящими в экологический класс Евро-норм. К сожалению, отсутствие у основной части работников автотранспорта знаний основ химмотологии, изучающей эксплуатационные свойства, качество и рациональное использование ГСМ и спецжидкостей, приводит к тому, что на практике часто допускается пересортица моторных масел, заливаемых (подливаемых) в дизель по принципу: «какая разница – масло да масло». И одни приобретают моторное масло что подешевле, другие допускают пересортицу.

Целью настоящей работы явилась сравнительная оценка работоспособности системы «ДВС-масло» дизелей КамАЗ-740.61 (Евро-3) и КамАЗ-740 (Евро-0) при работе на моторных маслах М8Г<sub>2</sub>К и Лукойл Супер 5W40.

Некоторые результаты сравнительных испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Показатели работоспособности системы «ДВС-масло» дизелей КамАЗ*

Показатели	Свежее		Работающее			
			без центрифуги		с центрифугой	
	5W40	М8Г <sub>2</sub> К	5W40	М8Г <sub>2</sub> К	5W40	М8Г <sub>2</sub> К
1. Нарботка масла до замены, км	0	0	13885	13255	18703	8735
2. Нерастворимые механические примеси, %	0	0,048	2,7	3,5	1,9	3,3
3. Негорючие механические примеси, %	0	0,0205	0,056	0,153	0,03	0,12
4. Диспергирующая способность, у.е.	–	–	0,495	0,446	0,51	0,25
5. Кинематическая вязкость при 100°С, сСт	14,8	7,8	11,65	12,57	12,4	9,17
6. Щелочное число, мг КОН/1г	9,5	7,6	5,37	1,98	5,16	1,14
7. Температура вспышки в открытом тигле, °С	220	210	185	190	190	190
8. Массовая доля элементов-индикаторов, г/т						
8.1. Кальций (Ca)	2100	1060	743	382	684	217
8.2. Цинк (Zn)	1300	862	445	127	516	27
8.3. Фосфор (P)	1126	960	332	138	404	106
8.4. Молибден (Mo)	121	–	30	25	27	18
8.5. Медь (Cu)	0	1	26,7	6,6	18,4	94
8.6. Свинец (Pb)	5,0	2,0	10,7	5,8	8,5	2,2
8.7. Олово (Sn)	0,32	0,7	1,6	1,5	1,5	1,5
8.8. Кремний (Si)	2,0	1,0	12,7	29,2	9,7	25,3
8.9. Алюминий (Al)	2,2	3,0	11,0	28,8	3,4	14,8
8.10. Хром (Cr)	0,2	0,3	1,2	4,6	0,34	4,4
8.11. Железо (Fe)	1,3	2,5	67,2	132,2	15,2	56,6

Анализ результатов показывает, что значения практически всех показателей качества свежего масла 5W40 превышают показатели М8Г<sub>2</sub>К, что соответственно отражается и на показателях работающих масел. Наличие (отсутствие) центрифуги оказывает неоднозначное влияние на качественный состав и количество показателей работоспособности. По-видимому, преобладает физико-химическое воздействие масла на процесс его загрязнения над механическим воздействием центрифуги. В то же время износа железа в масле без центрифуги значительно больше.

Установлено также, что между негорючими примесями и химическими элементами – индикаторами износа существует тесная корреляционная связь, о чем свидетельствует зависимость  $Fe = f(НП)$ , представленная на рисунке, что подтверждает результаты работ [2].

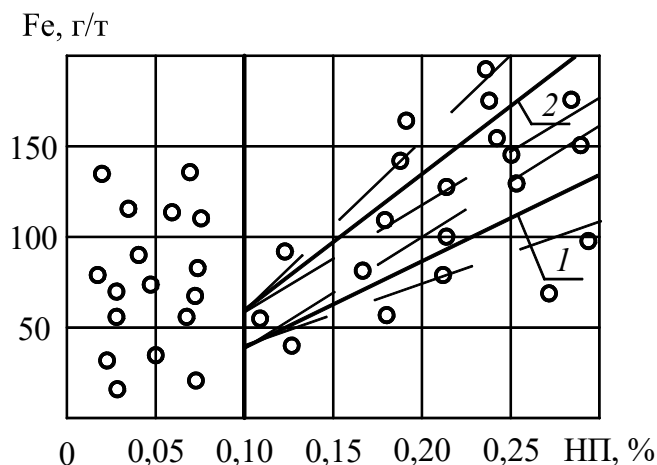


Рис. Характер связи содержания износа железа ( $Fe$ ) от негорючей составляющей механических примесей ( $НП$ ) в моторном масле дизелей:  
 1 – КамАЗ-740.61:  $Fe = 0,37 \cdot 10^3 НП + 2,5$  ( $r = 0,87$ ) – SAE 5W40;  
 2 – КамАЗ-740:  $Fe = 0,64 \cdot 10^3 НП + 2,7$  ( $r = 0,85$ ) – М8Г<sub>2</sub>К;  
 - - - - линия ограничения зоны дисперсии

В целом же при работе дизелей «Евро» без центрифуг на масле SAE 5W40 среднее содержание железа за указанную наработку составляет 47,0 г/т масла, на масле М8Г<sub>2</sub>К – 52,2 г/т, тогда как на дизелях КамАЗ-740 с центрифугой – 86,5 г/т масла. То есть скорость поступления в картерное масло дизелей «Евро» железа составляет 3,38 г/т на 1000 км, тогда как дизелей КамАЗ-740 – 11,04 г/т на 1000 км, что в 3 раза больше.

Подобная картина наблюдается и по другим элементам.

Отмечено [3], что активные элементы, входящие в пакет присадок, в той или иной мере содержатся в моторных маслах. Однако в 55 % проб отработавшего масла М8Г<sub>2</sub>К обнаружен молибден до 30 г/т, отсутствующий в свежем масле. Такие пробы содержали осадки от темно-серого до черного цвета. Осадки присутствовали и в иных пробах масла SAE 5W40. По нашему убеждению, такое явление объясняется пересортицей моторных масел при технических обслуживаниях. При этом содержание продуктов износа в пробах масла, как и при работе без центрифуги, резко возрастает.

В результате выполненных исследований напрашиваются три вывода.

1. При эксплуатации автомобилей КамАЗ с дизелями класса Евро необходимо использовать только моторные масла соответственно рекомендациям завода-изготовителя, в частности, компании Лукойл, т. е. Супер 5W40 (Евро), не допуская пересортицы.

2. При подготовке водителей и других лиц, непосредственно связанных с технической эксплуатацией и обслуживанием автомобилей, необходимо давать основы химмотологии.

3. Для предприятий с многомарочным парком машин целесообразно на бампере каждой из них нанести рекомендуемую марку масла для бдительности обслуживающего персонала.

### **Список литературы**

1. Григорьев, М.А. Тенденции развития систем смазки автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, Г.А. Бабкин, Ю.М. Рогозин // 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. Соколов, А.И. Изменение качества масла и долговечность автомобильных двигателей / А.И. Соколов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. – 122 с.



## ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ КОЛЕСНЫХ ДОРОЖНЫХ МАШИН

*Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,*

*Исаенко П.В., к.т.н., доц.,*

*Исаенко А.В., к.т.н., доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02*

*E-mail: isaenko\_pv@mail.ru*

Анализ результатов работ, посвященных изучению надежности топливоподающей аппаратуры дизелей мобильных машин, показал, что, несмотря на существующую многоступенчатую систему очистки магистрального топлива, к прецизионным парам деталей насосов и форсунок проникают твердые механические частицы загрязнений, приводящие их к отказу [1, 2, 3].

В этой связи авторами настоящей работы предложена усовершенствованная топливная схема (УТС), включающая масляный пылеуловитель, установленный на магистрали «дыхания» топливного бака машины и универсальный двухступенчатый топливный фильтр-сепаратор (ТФС) вместо штатного фильтра грубой очистки (ФГО). Лабораторные испытания указанных средств дополнительной очистки воздуха и топлива дали положительные результаты [4, 5, 6].

В рамках настоящей работы проведены эксплуатационные испытания эффективности усовершенствованной топливной системы колесных автопогрузчиков ТО-18А и автогрейдеров ДЗ-122, занятых в строительстве.

Установлено, что к ФГО серийной и ТФС усовершенствованной систем топливо поступает практически той же загрязненности, что и в самом баке. В среднем счетная концентрация частиц размером 5–25 мкм составляет  $(25–28) \cdot 10^3$  шт./мл и  $(11–12) \cdot 10^3$  шт./мл топлива соответственно. Исключение составляет резкодинамичный режим работы машины (например, при погрузке строительного мусора или уличной сметки в кузов грузовика). В этом случае общее количество загрязнений на входе в фильтр может возрасти на 15–20 %, а крупность частиц в серийной топливной системе (СТС) увеличивается до 50 мкм и выше. В УТС частицы таких размеров отсутствуют.

Эти результаты свидетельствуют о достаточно высокой эффективности МПУ, снижающего расчетную и массовую концентрации загрязнений в топливе в 2,4–2,9 раза только за счет защиты топливного бака от попадания в него атмосферной пыли. Применение в УТС машин топливного фильтра-сепаратора приводит к снижению загрязнений в топливе на входе в топливоподкачивающий насос еще в 4,1–4,8 раза. В этом случае суммарное количество частиц на 1 мл топлива составляет около 5200 шт. при максимальной крупности 25–30 мкм, а количество наиболее опасных частиц размером 6–15 мкм снижается в 5–7 раз.

Отсюда следует, что в отличие от серийной УТС дорожных машин не только удовлетворяет предъявляемым требованиям по ГОСТ 17216–2001, обеспечивая чистоту топлива до 6 класса, но и способна снять нагрузку с ФГО и тем самым повысить их ресурс. Об эффективности предлагаемой схемы топливной системы свидетельствует и коэффициент фильтрации – основной показатель чистоты топлива, соответствующий ГОСТ 305–82.

Необходимо отметить, что сезонные условия эксплуатации изменяют полученные среднегодовые результаты. Зимой вариация среднеквадратического отклонения загрязнений в СТС от математического ожидания колеблется в сторону снижения на 18–23 %, летом – наоборот, в сторону увеличения, что объясняется меньшей запыленностью воздуха в зимний период времени. У машин с УТС эти изменения находятся в пределах ошибки.

Присутствие воды в топливе, поступающем в ФГО дизелей с УТС, снижается по сравнению с СТС в 2–3 раза, чему также способствует применение ТФС. Даже в зимний

период времени в этом случае содержание воды в топливе колеблется в пределах 0,016–0,0045 %.

Усовершенствованная схема топливной системы положительно отразилась на расходе запасных деталей к ее сборочным единицам (табл.). Общая наработка машин со стандартной системой за время испытаний составила 1296 машино-дней, с усовершенствованной – 1500, что составила в первом случае 0,24 отказа, а во втором – 0,097 отказов на один машино-день, т. е. кратность снижения отказов составила 2,5 раза.

Таблица

*Расход запасных частей к топливной системе дизелей дорожных машин*

Наименование запасных деталей	СТС		УТС	
	Общий расход, шт.	% от общего расхода	Общий расход, шт.	% от общего расхода
Плунжер в сборе (втулка + плунжер)	59	19,09	27	18,39
Нагнетательный клапан в сборе (седло + клапан)	71	22,98	32	21,72
Распылитель в сборе (игла + корпус распылителя)	52	16,82	26	17,7
Толкатель	42	13,59	18	13,32
Детали топливopодкачивающего насоса	44	14,24	16	10,75
ФТО	41	13,28	27	18,39
ИТОГО	309	100	146	100

Статистика отказов показала, что при СТС наработка на первый отказ плунжерной пары составила  $1546 \pm 200$  ч, клапанной пары –  $1365 \pm 315$  ч, распылителя –  $1630 \pm 160$  ч, при УТС –  $2760 \pm 79$ ,  $2816 \pm 197$  и  $3030 \pm 115$  ч соответственно.

Таким образом, предлагаемый вариант совершенствования топливной системы дорожных машин в 1,5–2,8 раза повышает надежность деталей топливopодводящей аппаратуры с одновременным снижением расхода запасных частей на ее восстановление, что приводит к повышению эффективности использования машин в эксплуатации. Оценка влияния УТС на надежность дизеля с точки зрения изнашивания цилиндропоршневой группы требует проведения дополнительных исследований, не входящих в задачу настоящей работы.

### Список литературы

1. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия. – 1982. – 272 с.
2. Общая характеристика загрязненности дизельного топлива. Часть 3 // Электрон. дан. Режим доступа URL : <http://www.rusarticles.com/oborudovanie-statya/obshhaya-karakteristika-zagryaznennosti-dizelnogo-topliva-3-chast-6528376.html> (дата обращения 01.04.2013).
3. Григорьев М.А., Борисова Г.В. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение. – 1991. – 230 с.
4. 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.
5. Пылеуловитель для топливных систем дизелей строительных и дорожных машин / Э.И. Удлер, С.А. Зыков, В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко // Вестник ТГАСУ. 2006. № 1. С. 90–95.
6. Фильтр-сепаратор: а.с. СССР, МПК В 01 D 29/12, С 10 G 33/06 / Г.Г. Петров, Э.И. Удлер. № 1287918/ А1. 2 с.

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,

Исаенко П.В., к.т.н., доц.,

Исаенко А.В., к.т.н., доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02

E-mail: isaenko\_pv@mail.ru

Современная мобильная машина (ММ) – это сложный технический объект, состоящий из ряда самостоятельных взаимосвязанных агрегатов и систем. Машина считается надежной, если работоспособны все сборочные единицы, и ненадежной, если неработоспособна одна из них. Надежность ММ обуславливается многими внутренними и внешними факторами технологического и эксплуатационного характера, приводящими к неисправностям и отказам. Известно, что чем сложнее и напряженнее условия эксплуатации машины, тем сложнее характер неисправностей и тем труднее определить их причину, неговоря о своевременном ее обнаружении и предсказании на перспективу, т. е. выполнить оценку (прогноз).

Оценка (прогнозирование) надежности – обязательный этап на стадиях проектирования и производства машины, конечная цель которого – определить срок службы (наработку) до капитального ремонта отдельных ее агрегатов, что и наблюдают потребители в нормативно-технической документации, прилагаемой к стандартно изготовленной машине.

Сложность и непредсказуемость реальных условий эксплуатации ММ нарушают нормы, как правило, в меньшую сторону, не обеспечивая заложенного ресурса в сборочные единицы. Поэтому на местах использования машин крайне важно поддерживать надежность (работоспособность) узлов путем их диагностирования с целью безразборной оценки технического состояния как в реальном режиме времени, так и его прогнозирования на ближайшую и долгосрочную перспективу.

Такие задачи успешно решаются в автотранспортных предприятиях (АТП) Томской области, Кузбасса, республики Саха-Якутии (г. Нерюнгри), имеющих в структуре службу диагностики и надежности автомобилей (СДиНА) [1]. Используя те или иные методы прогнозирования [2], классификация которых представлена на рис. 1, службы решают вопросы постановки автомобилей на техническое обслуживание и текущий ремонт только по необходимости, выполняя те операции, в которых реально нуждается сборочная единица или ее система; планируют неснижаемый объем запасных частей, горючесмазочных материалов, спецжидкостей и т. п.



Рис. 1. Классификация инженерных методов прогнозирования машин

Так, исследуя интенсивность изнашивания дизелей 8Ч 120/120 и 8Ч 130/140 в условиях г. Томска и области службой СДиНА «Томскстрой-транс» разработана с 95%-й степенью вероятности простая однопараметрическая модель

$$L_{\text{кр}} = 5,68 \cdot 10^2 + 465,97 \cdot J_{\text{Fe}}^{-1},$$

где  $L_{\text{кр}}$  – наработка дизеля до капитального ремонта, тыс. км;  $J_{\text{Fe}}$  – интенсивность поступления в систему смазки железа как продукта изнашивания цилиндропоршневой группы двигателя, г/т масла.

Она позволяет прогнозировать ресурс дизеля по результатам спектрального анализа моторного масла, выдаваемым лабораторией службы.

Другой пример. Для оценки срока службы (наработки) дизелей 8Ч 120/120 до текущего ремонта в автобазе технологического автотранспорта г. Нерюнгри установлена усредненная эмпирическая зависимость диаметрального износа гильзы цилиндров  $\Delta D$  от балансового содержания железа  $Q_{\text{Fe}}$ , поступившего в систему смазки дизеля за определенную наработку при тесноте связи  $r = 0,923$ :

$$\Delta D = 1,287^{-1} Q_{\text{Fe}} - 8,51 \cdot 10^{-3}, \text{ мм.}$$

Установлено, что надежность дизеля указанной размерной группы резко снижается при  $\Delta D_{\text{max}} = 0,25$  мм, что проявляется в падении мощности, перерасходе топлива и масла, чрезмерном дымлении и прочих негативных последствиях. При этом балансовое содержание железа в системе смазки не допускают выше предельной нормы, которая в данном случае составляет 0,330 кг.

При построении математических моделей прогнозирования надежности машины в эксплуатации выбирают наиболее представительные диагностические параметры, достаточно объективно характеризующие состояние агрегата или системы при воздействии на них многообразия внешних факторов. Их совокупность обуславливает общую наработку, которая и является ключевым фактором, влияющим на изменение выбранного диагностического параметра.

На рис. 2 изображены зависимости линейного износа тормозных накладок автомобилей КамАЗ, являющиеся математическими моделями прогнозирования срока их службы.

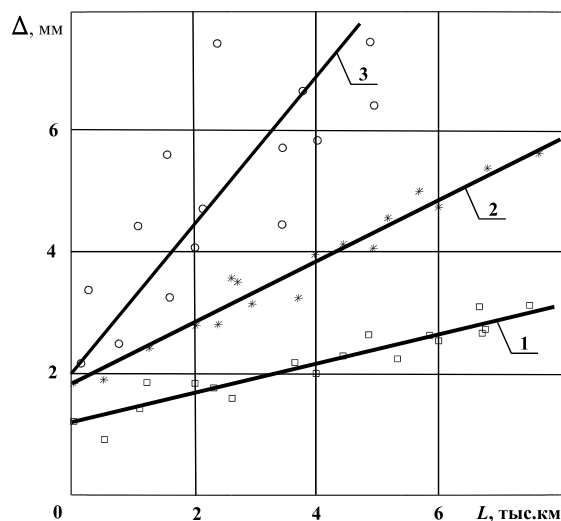


Рис. 2. Динамика изменения рабочего зазора между накладкой и тормозным барабаном автомобилей КамАЗ

В таблице представлены результаты расчета ресурса тормозных накладок разных поставщиков.

За диагностический параметр принят регулируемый зазор между накладкой и тормозным барабаном, косвенно, но точно отражающий динамику изнашивания. Очевидно, что экономически выгодно приобретать товар через дилерскую компанию, или через магазин, хотя бы в какой-то мере гарантирующие его качество.

Модельный расчет наработки и годового запаса тормозных накладок автомобилей КамАЗ\*

№ зависимости (рис. 2)	Условия перевозок	Средне-годовая наработка автомобиля $L$ , тыс. км	Поставщик тормозных накладок	Номинальный зазор $\Delta_{ном}$ , мм	Коэффициент $a$ регрессии $y=ax+b$	Теснота связи $r$ между $\Delta$ и $L$	Прогнозируемый ресурс накладок $L_{рес}$ , тыс. км	Частота смены накладок $n$ , в год	Годовое потребление накладок, шт.	
									1 автомобиль	50 автомобилей
1	Междугородные	97,51	Дилер	1,54	0,185	0,976	151,35	0,644	10,3	515
2	Перевозка грузов в пределах области	43,41	Магазин	1,87	0,507	0,911	53,13	0,77	12,32	616
3		39,18	Авто-рынок	2,0	1,215	0,673	23,04	1,70	27,2	1360

\*Толщина накладок составляет 28–30 мм.

Ограничиваясь рамками настоящей статьи, других примеров построения и использования моделей оценки привести не представляется возможным. Однако из приведенных примеров следует, что для решения подобных задач в структуре пользователя (АТП) должна быть специальная служба, сотрудники которой должны обладать знаниями основ теории надежности и диагностики мобильных машин.

### Список литературы

1. Исаенко В.Д., Исаенко А.В., Исаенко П.В. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учеб. пособие. – Томск: изд-во ТГАСУ, 2007. – 239 с.
2. Мозгалеvский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика (непрерывные объекты): учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.

## СНИЖЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ТОПЛИВНЫХ БАКАХ МАШИН

Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,

Исаенко П.В., к.т.н., доц.,

Исаенко А.В., к.т.н., доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02

E-mail: isaenko\_pv@mail.ru

Многолетний опыт эксплуатации автомобилей показывает, что 35–40 % всех отказов дизелей происходит по причине потребления «грязного» топлива. Загрязнение его в большей или меньшей степени происходит на всех этапах от изготовления на НПЗ до потребления в машинах. Основными из всех продуктов загрязнения являются механические частицы атмосферно-дорожной пыли, активно влияющие на процесс изнашивания прежде всего прецизионных деталей топливной аппаратуры [1].

На кафедре автомобильного транспорта ТГАСУ создано простое эффективное устройство [2,3], обеспечивающее защиту топливных резервуаров нефтескладов, АЗС и баков автомобилей от мехпримесей, основанное на гравитационном осаждении частиц пыли в масляной ванне при движении воздуха в спиральном канале пылеуловителя (МПУ).

Исходя из условия полного осаждения частиц в масляной ванне МПУ, с учетом его конструктивных параметров и свойств воздуха, получено выражение:

$$\frac{h}{D} = \sqrt{\left(\frac{18\gamma_B \cdot q_B}{gD(\rho_{\text{ч}}/\rho_B)d_{\text{ч}}^2 \cdot t}\right)^2 - \pi^2 \left(\frac{D}{4t} - \frac{d}{D}\right)^2},$$

где  $t$  – шаг спирали, м;  $h$  – высота канала, м;  $q_B$  – объемный расход очищаемого воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma_B$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{\text{ч}}$  и  $\rho_B$  – плотность частиц и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{\text{ч}}$  – приведенный диаметр частицы, м;  $D$  – внешний диаметр спирали, м;  $d$  – диаметр центральной трубки, м.

Откуда формула расчета минимального размера осажденных частиц загрязнения в МПУ будет иметь вид:

$$d_{\text{чmin}} = \left(\frac{18 \cdot \gamma_B \cdot q_B}{g \cdot (\rho_{\text{ч}}/\rho_B) \cdot D \cdot t}\right)^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{h}{D}\right)^2 + \pi^2 \left(\frac{D}{4t} - \frac{d}{D}\right)^2\right]^{-0,25}, \text{ мкм.}$$

Расчет выполнен на изготовленной модели МПУ, за основу которой был взят корпус штатного топливного фильтра с наружным диаметром  $D = 92 \cdot 10^{-3}$  м, диаметром трубки  $d = 20 \cdot 10^{-3}$  м,  $t = 8 \cdot 10^{-3}$  м и  $h = 92 \cdot 10^{-3}$  м при физических параметрах воздуха и загрязнений:  $\gamma_B = 15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\rho_B = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ч}} = 2600$  кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $q_B = 9,53 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с;  $d_{\text{ч}} = 4,6 \cdot 10^{-6}$  м.

В этом случае

$$d_{\text{чmin}} = \left(\frac{18 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 9,53 \cdot 10^{-6}}{9,8 \cdot (2600/1,2) \cdot 92 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,5} \times \\ \times \left[\left(\frac{92 \cdot 10^{-3}}{92 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + 3,14^2 \left(\frac{92 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} - \frac{20 \cdot 10^{-3}}{92 \cdot 10^{-3}}\right)^2\right]^{-0,25} \cdot 10^6 = 4,426 \text{ мкм.}$$

Лабораторные испытания пылеуловителя (МПУ) проведены по методике, позволяющей имитировать режимы «дыхания» топливного бака с целью оценки эффективности по улавливанию пыли по ГОСТ Р 50554–93.

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Коэффициент полноты отсева загрязнений воздуха в МПУ*

Циклы испытаний	$q_n$ , г	$G_0 = q_n \cdot t$ , г	$G_{отс}$ , г	$\eta_{ул}$
1	15,010	245,6	239,35	97,55
2	15,007	293,4	239,48	81,62
3	15,020	244,3	239,51	98,03
4	15,015	295,7	230,32	77,88
5	15,012	244,9	239,32	97,73
среднее	15,0128	264,78	237,59	90,55

Из табл. 1 следует, что при среднем значении коэффициента улавливания, равным 90,55 %, в топливный бак системы поступает от 5 до 50 г пыли в зависимости от крупности частиц при расходе воздуха в пределах  $(2-5) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Определение счетной концентрации выполнено с применением анализатора ФС-112/3, предназначенного для автоматического подсчета в пробах жидких сред количества взвешенных частиц и их классификации по размерам частиц в интервале до 500 мкм. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Относительное содержание частиц загрязнителя по размерным фракциям*

Место отбора пробы	Количество частиц в 1 мл топлива по размерам, мкм					
	до 5	6–10	11–15	16–20	21–35	свыше 35
На входе в МПУ	26,3	30,3	17,4	9,8	10,2	6,0
Отстойная ванна МПУ	6,48	21,6	60,2	89,7	98,7	100
Топливный бак	92,68	77,90	39,35	10,14	1,25	0,0
Потери	0,84	0,48	0,40	0,15	0,05	0

Проведены усеченные эксплуатационные испытания на автогрейдерах типа ДЗ-122 с дизелем А-01М с установленным МПУ и без него (табл. 3).

Таблица 3

*Результаты эксплуатационных испытаний масляного пылеуловителя*

Показатель	Штатный топливный бак				Бак с установленным МПУ					
	в баке (рабочий режим)		на входе в ФГО		масляная ванна МПУ		в баке (рабочий режим)		на входе в ФГО	
Среднее содержание загрязнений, % (масс)	0,0183		0,00767		0,0257		0,0057		0,0034	
Размерная группа частиц, мкм	Содержание частиц загрязнений в размерной группе									
	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%	шт./мл	%
1–5	11883	35,87	10769	43,96	56	0,66	8454	39,95	4300	47,55
6–10	8162	24,64	6842	29,92	118	1,38	6115	28,90	3617	40,00
11–20	6486	19,58	4068	16,60	1212	14,24	4421	20,90	971	10,74
21–30	4990	15,06	1879	7,67	4884	57,40	1978	9,34	115	1,27
31–40	1431	4,32	852	3,48	1425	16,74	114	0,54	34	0,37
Свыше 40	771	0,53	87	2,35	815	9,58	78	0,37	6	0,07
Всего	33723	100	24497	100	8510	100	21160	100	9043	100



Таким образом, установлено, что масляный пылеуловитель в 3,5–4 раза снижает попадание в топливный бак достаточно опасных абразивных частиц размером свыше 15 мкм. Представленные результаты свидетельствуют о достаточно высокой работоспособности МПУ, отвечающей поставленным техническим задачам. Полученные результаты могут явиться основой для дальнейших исследований совершенствования систем защиты топлива от атмосферных загрязнений не только в баках машин, но и других емкостей хранения топлива.

#### **Список литературы**

1. Григорьев М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1991. – 230 с.
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. Пат. 2257487 РФ. МПК7 F01M 35/08, B01D 47/02. Масляный пылеуловитель для топливных резервуаров / Э.И. Удлер, С.А. Зыков, А.В. Исаенко. Заявлено 29.10.2003; Опубл. 27.07.2005, Бюл. № 21. – 6 с.

## К ВОПРОСУ О ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОЧИСТКЕ МАСЛА

*Исаенко В.Д., к.т.н., с.н.с.,*

*Исаенко П.В., к.т.н., доц.,*

*Исаенко А.В., к.т.н., доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02*

*E-mail: isaenko\_pv@mail.ru*

Одними из зарекомендовавших себя во многих отраслях народного хозяйства являются автомобили КамАЗ с мощными дизелями, работающими на маслах М8(10)Г<sub>2</sub>К. Теория и практика многолетней их эксплуатации показали достаточно высокую эффективность комбинированной системы очистки масла, включающую полнопоточный фильтр тонкой очистки с бумажными фильтроэлементами и центрифугу на ответвлении.

В настоящее время для дизелей КамАЗ с учетом их экологических Евро-классов разработан целый ряд моторных масел, загущенных высокоэффективными присадками. Присадки обладают необходимыми функциями для сохранения в работающем масле первоначальных свойств и состояний даже без центрифуги, принцип действия которой основан на центробежной очистке масла от механических примесей.

Однако в реальных условиях эксплуатации среди автомобилей с дизелями классов «Евро» в массовом порядке работают КамАЗы с «первородными» двигателями до «Евро». Перемешка дизелей в одном и том же автопредприятии вызывает ряд негативных явлений, нарушающих положительные замыслы создателей [1].

Специалисты кафедры автомобильного транспорта ТГАСУ выполнили научную работу по оценке состояния системы смазки дизелей КамАЗ с центрифугой и без нее, в реальных условиях эксплуатации десяти автомобилей УМП «Спецавтохозяйство» г. Томска. Необходимые физико-химические и спектральный анализы проб картерного масла и отложений на масляных фильтрах проводились в аккредитованной лаборатории ГСМ.

В качестве показателей, характеризующих свойства и состояние масла и двигателя, приняты: вязкость кинематическая ( $\eta$ ); щелочность (ЩЧ); механические примеси – общие нерастворимые в бензине (ОП) и негорючие (НП); диспергирующая способность (ДС) по масляному пятну; температура вспышки в открытом тигле (ТВ), а также элементы-индикаторы присадки, загрязнения масла и износа деталей двигателя: Ca, Ba, Mo, Sn, Cu, Pb, Al, Si, Fe, Cr. Двигатели работали в зимний период на моторных маслах М8Г<sub>2</sub>К и SAE 5W40.

Исследования показали, что периодичность замены масла в дизелях класса «Евро» варьируется от 10 до 15 тыс. км, тогда как до «Евро» – 7–10 тыс. км, что для достаточно сложных, в основном, городских условий эксплуатации вполне приемлемо.

Из механических примесей наиопасную роль с точки зрения надежности двигателей играет негорючая составляющая. Известно, что абразивный износ железосодержащих деталей (в основном ЦПГ) значительно возрастает при содержании негорючих механических примесей более 0,08 % – 0,1 %.

Установлено, что между НП и химическими элементами – индикаторами износа существует тесная корреляционная связь, например, зависимость  $Fe = f(NП)$ .

Средние значения показателей физико-химического анализа проб масел представлены в таблице.

Лабораторные анализы показали, что рост негорючих примесей до 0,04 % существенного влияния на концентрацию железа не оказывает. Наблюдается стабильный уровень в пределах 22–25 г/т. Последующее нарастание примесей до 0,08 % увеличивает концентрацию железа до 62 г/т и более. Проб масел с такой концентрацией насчитывалось 30 %, из которых большая часть (~75 %) имела концентрацию железа 128–130 г/т при 0,12 % НП.

Физико-химические показатели моторного масла дизелей УМП

Показатели	Наличие масляной центрифуги и марка масла в дизеле		
	Без центрифуги		С центрифугой М8Г <sub>2</sub> К
	SAE 5W40	М8Г <sub>2</sub> К	
1. Нароботка масла до замены, км	13885	13255	8735
2. Нерастворимые механические примеси, %	2,7	3,5	3,3
3. Негорючие механические примеси, %	0,056	0,073	0,12
4. Диспергирующая способность, у.е.	0,495	0,446	0,25
5. Кинематическая вязкость при 100°С, сСт	11,65	12,57	9,17
6. Щелочное число, мг КОН/1г	5,37	4,98	1,14
7. Температура вспышки в открытом тигле, °С	185	190	190

В целом же при работе дизелей «Евро» без центрифуг на масле 5W40 среднее содержание железа составляет 47,0 г/т масла, на масле М8Г<sub>2</sub>К – 52,2 г/т, тогда как на дизелях КамАЗ-740 с центрифугой – 86,5 г/т масла. Соответственно хрома: в первых двух случаях 1,25 г/т и 1,56 г/т, тогда как в третьем – 2,4 г/т. Т. е. скорость поступления в картерное масло дизелей «Евро» железа составляет 3,38 г/т на 1000 км и 3,94 г/т на 1000 км, тогда как дизелей КамАЗ-740 – 11,04 г/т на 1000 км, что в два раза больше. Соответственно и хрома: 0,09 г/т, 0,08 г/т и 0,274 г/т. Подобная картина наблюдается и по другим элементам: Al, Cu, Pb.

Обращает на себя внимание изменение кинематической вязкости масла. При исходной вязкости масла 5W40 в пределах 15 сСт она снижена на 22,3 % при допуске не более 20 %, что вполне объяснимо, поскольку и температура вспышки также снижена по сравнению с изначальной (230 °С) на 45 °С при норме в 20 °С [3]. Причиной снижения температуры вспышки является, вероятнее всего, некачественное дизельное топливо, тяжелая фракция которого, не сгорая, разжижает моторное масло, если считать, что топливная аппаратура была работоспособна.

При работе дизелей «Евро» на масле М8Г<sub>2</sub>К наблюдается рост кинематической вязкости. Так, если исходная вязкость его составляет  $8 \pm 0,5$  сСт, то при пробеге более 13000 км она возросла на 37 %, что несколько выше предельного. Этот рост объясняется повышенным содержанием общих механических примесей в масле с более слабой композицией присадок. В дизелях с центрифугой этот параметр в пределах допустимого.

Таким образом, подтверждена целесообразность и эффективность работы дизелей класса «Евро», не требующих масляной центрифуги, если использовать только предназначенные марки масел, недопуская пересортицы при организации контроля качества работающих масел, топлив и спецжидкостей.

### Список литературы

1. К вопросу выбора смазочного масла для двигателей КамАЗ / В.А. Аметов, В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко, П.В. Исаенко // Ученые записки крымского ИПУ, 2018. – С. 186–190.

2. Исаенко В.Д. Анализ надежности защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дис... канд. техн. наук. – Л. – 1983. – 220 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Зиятдинов Р.Р.*

*Набережночелнинский институт КФУ,*

E-mail: rust.kfu@gmail.com

Повышение безопасности эксплуатации транспортных средств является важной задачей. Особенно данная задача актуальна для беспилотных транспортных средств. Многие компании, такие как Yandex, ПАО «КАМАЗ» и другие ведущие автопроизводители, уже эксплуатируют в тестовом режиме беспилотные перевозки на дорогах общего пользования. Так ПАО «КАМАЗ» проводит тестирование беспилотных автомобилей на трассе М-11 «Нева». В данный момент, за движением грузовика КАМАЗ по трассе наблюдает водитель-оператор и при необходимости вмешивается в процесс управления автомобилем. Для полноценного внедрения беспилотных автомобилей требуется решить множество вопросов, связанных с безопасностью движения, как правовых, так и технических. Одной из технических составляющих обеспечения безопасности движения является поддержание беспилотных транспортных средств в исправном состоянии. В условиях отсутствия водителя, данная задача становится особенно актуальной. При этом важно не только прекратить эксплуатацию транспортного средства при наличии неисправности, но и обеспечить прогнозирование возможных неисправностей для своевременного проведения технического обслуживания.

Для реализации автоматизированной системы предиктивной диагностики необходимо собирать и анализировать информацию о состоянии узлов беспилотного автомобиля. С этой целью беспилотное транспортное средство оснащается необходимыми датчиками и вычислительной системой. Например, для диагностики состояния двигателя внутреннего сгорания можно использовать датчики для измерения таких параметров как давление и температура масла, давление картерных газов, обороты и мощность двигателя, расход топлива, вибрацию узлов и т. д. Полученные данные анализируются бортовой вычислительной машиной и формируются соответствующие управляющие воздействия в зависимости от текущего состояния автомобиля. Это может быть как немедленная аварийная остановка с принятием мер, обеспечивающих безопасность так и отложенное обращение на станцию технического обслуживания.

Автоматизированная система диагностики может использовать как «жесткие» алгоритмы, так и алгоритмы, основанные на системах искусственного интеллекта. В первом случае, системы могут оказаться неэффективными в виду многообразия возможных неисправностей, наличия элементов неопределенностей и т. д. Для решения задач предиктивной диагностики можно использовать такие методы искусственного интеллекта как экспертные системы, нейронные сети, машинное обучение и т. п. [1–3].

При этом, многие методы искусственного интеллекта достаточно требовательны к вычислительным ресурсам. Учитывая, что на бортовую управляющую систему может возлагаться множество других объемных вычислительных задач, таких как распознавание окружающей обстановки, геолокация, управление узлами и агрегатами автомобиля, более эффективным будет разделение задач по диагностированию аварийных неисправностей (требующих немедленной реакции) и неисправностей, с которыми можно продолжить движение до станции технического обслуживания. В таком случае, диагностирование и обработку неаварийных ситуаций, можно осуществлять, используя передачу данных на удаленный телематический сервер. Это позволит уменьшить нагрузку на вычислительные мощности беспилотного транспортного средства. Например, критическое понижение уровня и/или давления масла в двигателе внутреннего сгорания требует немедленного прекращения эксплуатации автомобиля. Такая диагностика реализуется простым алгоритмом сравнения текущих параметров с предельными и не требует особой вычислительной

мощности. А, например, в случае длительного, но не критического понижения уровня масла, требуется уже более глубокий анализ систем двигателя внутреннего сгорания, для выявления причин и заключения о необходимости обратиться в сервис. Подобные алгоритмы могут быть реализованы на удаленном облачном центре обработки данных.

На рис. 1 показана структурная схема автоматизированной системы диагностики, использующей передачу и обработку данных на удаленном сервере.

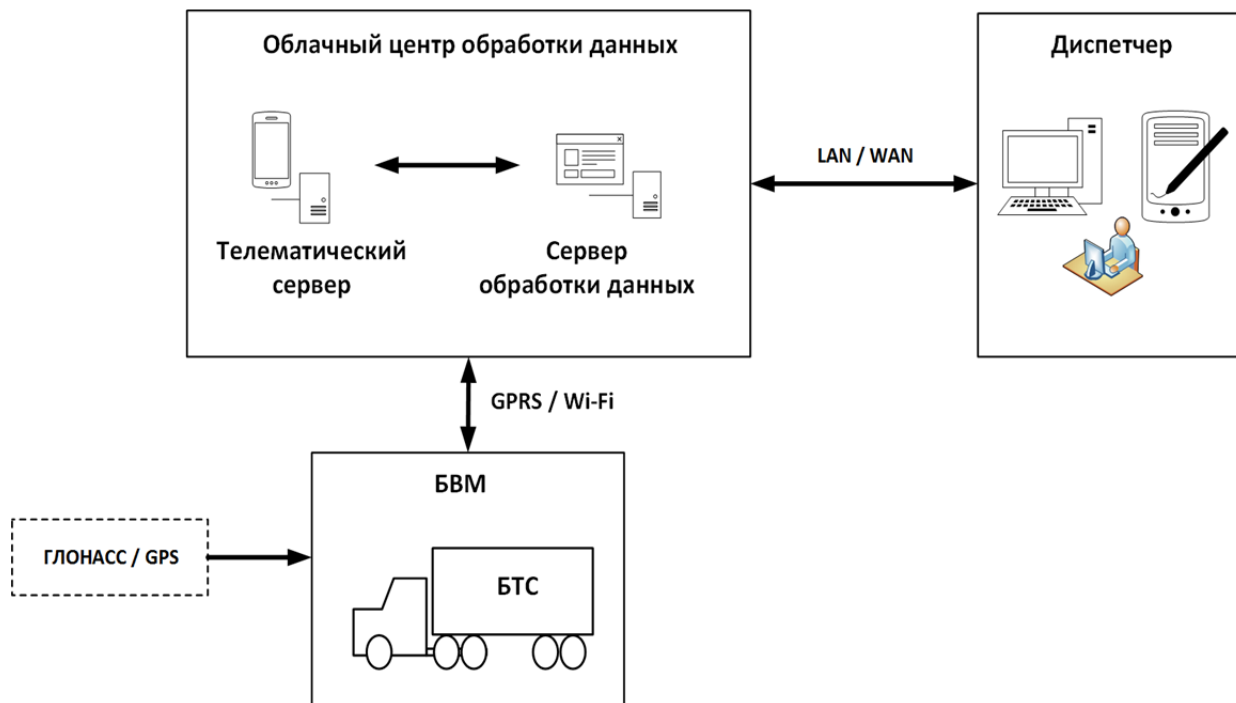


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы предиктивной диагностики

Бортовая вычислительная машина (БВМ) собирает информацию о состоянии узлов и агрегатов беспилотного транспортного средства (БТС), анализирует на предмет наличия аварийных ситуаций и в случае их выявления выдает управляющие воздействия на прекращении эксплуатации автомобиля. Собираемые данные также передаются на телематический сервер, используя доступные каналы связи, например, GPRS, WiFi и т.п. На сервере осуществляется накопление и обработка данных для диагностирования состояния автомобиля с использованием алгоритмов предиктивной диагностики. Необходимые управляющие воздействия передаются на бортовую вычислительную машину, а также диспетчеру для контроля правильности принятых решений.

Таким образом, использование автоматизированной системы предиктивной диагностики позволит повысить безопасность эксплуатации беспилотных транспортных средств.

### Список литературы

1. Капитонов А.А., Симонова Л.А. Исследование применения методов искусственного интеллекта для задачи диагностирования технического состояния автомобиля // Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инновации. г. Уфа, 26 октября 2021г. – С. 46–51.
2. Экспертная система «Обнаружение неисправностей дизелей»: Св-во № 2006611386 об официальной регистрации программы для ЭВМ. / В.В. Альт, О.Ф. Савченко, С.Н. Ольшевский, И.Г. Гребенникова. – М.: ФИПС, 2006. 1 с.
3. Ольшевский С.Н. Экспертная система обнаружения неисправностей – интеллектуальный инструмент обеспечения работоспособности двигателей. / С.Н. Ольшевский, О.Ф. Савченко, И.Г. Гребенникова. // Достижения науки и техники АПК. – 2006. № 11. 22–24 с.

## ТЕПЛОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ НОРМАТИВНЫХ И СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ МАШИН И АГРЕГАТОВ

*Калиниченко В.С., старший преподаватель,  
Мусатова Ю.С., студентка гр. 310/1с,  
Власов Ю.А., д.т.н., проф.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, Соляная площадь, 2, к. 4,  
тел. (3822)-65-34-68  
E-mail: kvs-2010@mail.ru*

Для исследований эксплуатационной нагруженности машин и конструкций разработаны эффективные методы натурной тензометрии, обеспечивающие проведение исследований статических, квазистатических и динамических деформаций (напряжений) при высоких и низких температурах [1]. Экспериментальные тензометрические методы применяются при проведении приёмо-сдаточных и периодических испытаний грузоподъемных кранов [2] и мобильных подъемников [3]. Метод теплового неразрушающего контроля на основе механизма деформационного теплообразования на сегодняшний день имеет значительные перспективы внедрения при испытании металлоконструкций машин [4–7]. Основным требованием, предъявляемым к металлоконструкциям ПТМ, является сохранение несущей способности, при этом прогибы и деформации в общем случае не нормируются, а, следовательно, в целях экономии при проектировании можно использовать все ресурсы пластической работы материала. По сути, конструкция должна обладать свойством живучести при воздействии на нее кратковременных динамических нагрузок. Применение методов теории живучести технических систем и статических и динамических оценок функционирования технических объектов позволяет точнее определить остаточный ресурс металлоконструкций ПТМ, после воздействий нормативных и сверхнормативных динамических нагрузок [8]. Цель данной работы заключается в разработке метода неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния ПТМ и, в частности подъемников пантографного типа при проведении приёмо-сдаточных и периодических испытаний.

Экспериментальные исследования и обработка результатов испытаний опытного образца подъемника пантографного типа, позволили получить новые статистические данные применяемых методов неразрушающего контроля. Многоканальная тензометрическая система [9] достаточно точно позволила оценить напряженно-деформированное состояние в отдельных точках конструкции на предмет соответствия проектным, расчетным нагрузкам. Метод теплового неразрушающего контроля на основе механизма деформационного теплообразования синхронно использован при испытаниях (рис. 1).

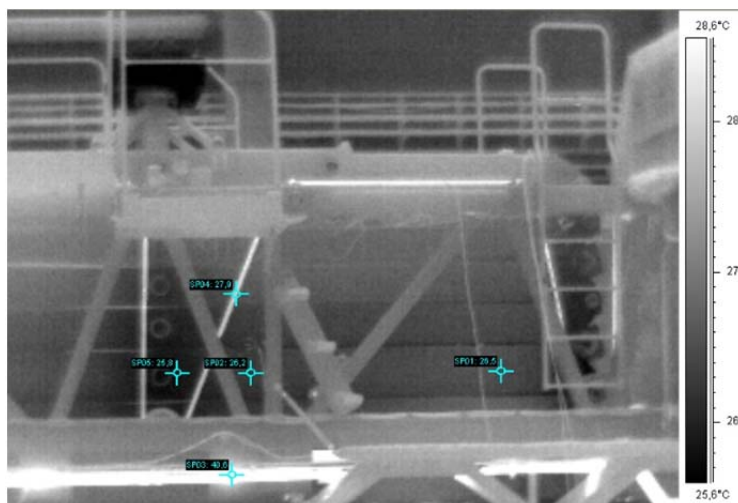


Рис. 1. Термограмма испытаний подъемника, начало подъема

Цена деления или единица младшего разряда для каждой измерительной системы определяется по формуле (1):

$$1_{mp_i} = \frac{\varepsilon}{\Delta C}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительное значение деформации в конструкции;  $\Delta C$  – показания системы при определении единицы младшего разряда.

Единицу младшего разряда теплового неразрушающего метода контроля на основе механизма деформационного теплообразования получили на основе сопоставления с данными тензометрии. Изменение деформации преобразуется в выделение тепла в диапазоне температурного поля, заданного пределами тепловизионного измерительного оборудования.

Таким образом, в работе показано, что измерение деформаций и напряжений обеспечивается применением тензометрического метода, который обладает достаточной точностью измерений, но получаемая испытательная информация ограничена областями установки тензодатчиков. Разработан метод отказоустойчивого контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций ПТМ, который обеспечивается применением дублирующего, косвенного, дистанционного метода измерения механических напряжений и деформаций средствами инфракрасной термографии.

### Список литературы

1. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин [Текст] / Н.А. Махутов [и др.]; отв. ред. Н.А. Махутов. – 2-е изд., стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. – 576 с.
2. ГОСТ 32579.1–2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения [Текст]. – Введ. 2015-06-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 34 с.
3. ГОСТ 34443–2018 Мобильные подъемники с рабочими платформами. Расчеты конструкции, требования безопасности, методы испытаний [Текст]. – Введ. 2019-07-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 86 с.
4. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль [Текст] / В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.
5. Вавилов В.П. / Тепловой неразрушающий контроль материалов и изделий (обзор) [Текст] // Дефектоскопия. – 2017. – № 10. – С. 34–57.
6. Мойсейчик Е.А. Исследование и разработка метода теплового неразрушающего контроля стальных конструкций на основе механизма деформационного теплообразования [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.11.13: защищена 18.08.2019 / Мойсейчик Евгений Алексеевич. – М., 2019. – 277 с. – Библиогр.: с. 215–262.
7. Moysychik E. A., and Vavilov V.P., «Analyzing patterns of heat generated by the tensile loading of steel rods containing discontinuity-like defects», International J. of Damage Mechanics, vol. 27, no. 6, pp. 950–960. June 2018.
8. Makhutov, N.A., Gadenin, M.M., Lepikhin, A.M., and Y.I. Shokin, «Justifying calculations of the security of promising machines and man-machine systems on the risk criteria of accidents and disasters» J. of Machinery Manufacture and Reliability, vol. 47, no. 5, pp. 442–450. September 2018.
9. Пат. RU 101811 U1 Российская Федерация, МПК (2010) G 01 B 7/16. Многоканальная тензометрическая система для статических или динамических испытаний металлоконструкций строительных машин [Текст] / Ананин В.Г., Однокопылов Г.И., Калиниченко В.С.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Томский госуд. архит.-строит. университет. Заявка: 2010140385/28; заявл. 01.10.2010; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. – 14 с.: ил.



## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ СМАЗКИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНЫХ И САМОХОДНЫХ МАШИН

*Мещеряков М.Ю.<sup>1</sup>, Клименов В.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, А1-20,*

*E-mail: justbegold@outlook.com;*

*<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор*

Известно, что обеспечение работоспособного состояния системы смазки силовых агрегатов различных технологических и транспортных машин обуславливает возникновение отказов данных агрегатов в целом, поскольку их доля отказов в эксплуатации довольно велика.

Практика использования в конструкции системы смазки моторно-трансмиссионных агрегатов центробежных фильтров очистки масла с реактивным приводом выявила снижение эффективности фильтрации масла на режимах, характеризующихся малой производительностью масляных насосов. Также возможна снижение фильтрационной способности и по другим причинам [1].

По этой причине оценку работоспособного состояния указанной системы необходимо производить и по параметру частоты вращения ротора центробежного фильтра, в случае его использования, наряду с фильтрами объемного типа. Данный параметр работы вместе с параметрами давления и температуры масла в системе обеспечит достоверность постановки диагноза при оценке технического состояния конкретного агрегата. Существующие способы оценки работоспособности систем смазки, в конструкции которых предусмотрен центробежный фильтр, малоинформативны и обладают высокой трудоёмкостью [2, 3]. В связи с этим работы, направленные на диагностирование системы смазки силовых агрегатов, являются актуальными.

С целью определения работоспособности системы смазки силовых агрегатов по параметрам её работы был разработан оригинальный прибор [4]. Прибор предназначен для диагностирования системы смазки силовых агрегатов мобильных машин на основании трех регистрируемых параметров (частота вращения ротора центробежного фильтра, давление и температура жидкости в системе).

При испытаниях разработанного прибора выяснилось, что отслеживание параметров системы по трем датчикам дает не полное представление о работе диагностируемой системы. Поэтому было принято решение дополнительно внедрить в схему микроконтроллера еще как минимум 2 датчика: индуктивный датчик; датчик давления. Также принято решение о переходе на использование отечественных индуктивных датчиков, поскольку выбранные датчики обладают более высокой скоростью и дальностью срабатывания.



*Рис. 1. Модернизированная версия прибора для диагностики системы смазки силовых агрегатов самоходных и транспортных машин*

Частота опросов датчиков микроконтроллером составляет 1 Гц. Вывод показаний на LCD-экран и запись на съемный носитель происходит также с частотой 1 Гц. При необходимости частоту опроса датчиков можно изменить. При этом максимальная частота опроса датчиков составляет 10 Гц. Данное ограничение связано с параметрами работы микроконтроллера.

Внедренные усовершенствования позволили расширить диапазон регистрируемых параметров для различных силовых агрегатов.

### **Список литературы**

1. Петрищев Н.А. Универсальное контрольно-диагностическое оборудование для технического обслуживания и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии МТП / Н.А. Петрищев, С.Н. Саяпин, А.А. Данков, А.О. Капусткин // Механизация строительства. 2013. № 1. – С. 5–10.

2. Алушкин Т.Е. Обоснование диагностирования коробок передач тракторов семейства «беларус» по параметрам системы смазки и управления / Т.Е. Алушкин, М.Ю. Мещеряков. – Текст: непосредственный // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. 30 декабря 2019 года, Кемерово, 2019. – С. 53–59.

3 Капусткин А.О. Диагностирование технического состояния центробежных фильтров очистки масла на стенде КИ-28256.01. Труды ГОСНИТИ. Том 111. № 1. 2013. С. 13–17.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2022612504. PLSD PROGRAM / М.Ю. Мещеряков, Т.Е. Алушкин, Е.А. Кабакаев.; № 2021680141; заявл. 30.11.2021; опубл. 28.02.2022.

**ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ  
ЮНЫЙ ТЕХНИК**

## 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*

*ДТ «Кванториум» 634034, г. Томск, пр. Ленина, 26*

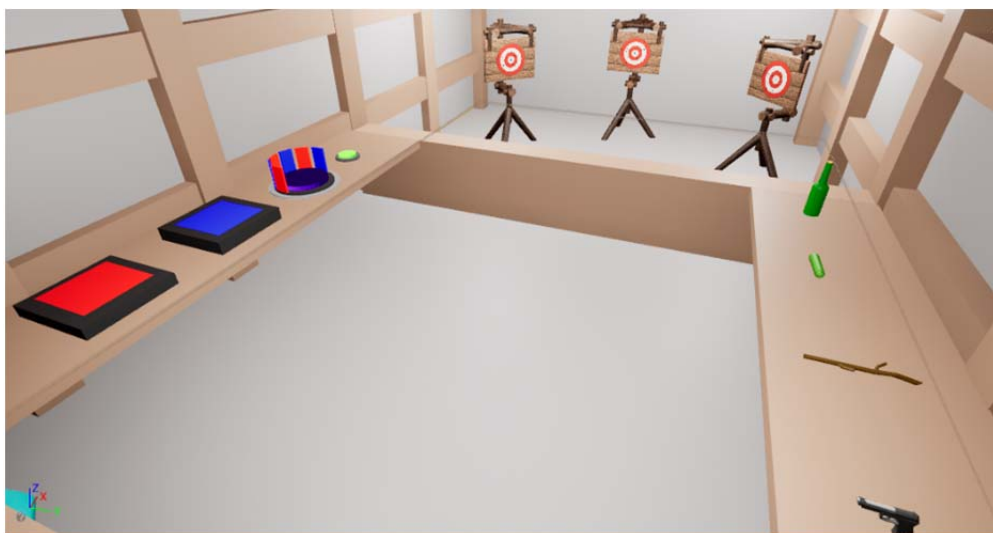
*E-mail: budarev0608@gmail.com;*

*Руководитель: Михайлов Д.В., педагог ДО*

*ДТ «Кванториум», г. Томск*

Использование виртуальной реальности в образовании не ограничивается военной или медицинской сферой, но распространяется и на школы с виртуальной реальностью, также принятой в образовании для обучения. Студенты могут взаимодействовать друг с другом и в трехмерной среде. Их также можно брать с собой на виртуальные экскурсии, например, в музей, экскурсии по Солнечной системе и путешествия во времени в разные эпохи. Виртуальная реальность может быть особенно полезна для студентов с особыми потребностями, такими как аутизм. Исследования показали, что VR может быть мотивирующей платформой для безопасной практики социальных навыков для детей, в том числе с расстройствами аутистического спектра. Некоторые компании разрабатывают сценарии виртуальной реальности, которые позволяют детям учиться и практиковать такие навыки, как указание пальцем, зрительный контакт и построение социальных связей.

Наша цель создать лабораторию (рис. 1) в виртуальной реальности, где можно выполнять различные задания, направленную на развитие логики и фантазии. Например, в лаборатории из нескольких разных предметов можно создать один уникальный, который содержит свойства обоих предметов. Виртуальная лаборатория содержит разные режимы игры. В приложении можно создавать различный объект из двух других.



*Рис. 1. Виртуальная лаборатория.*

Мы изучили аналог игры «Rick and Morty: Virtual Rick-ality», где мы взяли систему создания предметов, также мы изучили аналог игры «Job Simulator» взяли систему заданий.

Наша команда реализовала демонстрационную версию приложения «Виртуальная лаборатория» на игровом движке «Unreal Engine» [2], а также использовали графический редактор «Blender» [1] для создания 3D моделей. В начале игры мы оказываемся на локации «Лаборатория», где нас сопровождают звуковые эффекты при взятии бланка с заданиями, помогающие погрузить пользователя в игровую атмосферу. Рядом с рабочей зоной мы видим две платформы, они является некой мастерской, в которой можно собрать новый предмет из разных компонентов. Также есть стол, где мы берём предметы для мастерской.

Мы реализовали список заданий, при помощи которого игроку можно будет легко разобраться в механике игры.

Далее мы оказываемся на локации «Лаборатория», где нас сопровождают звуковые эффекты при взятии бланка с заданиями, помогающие погрузить пользователя в игровую атмосферу. Рядом с рабочей зоной мы видим две платформы для крафта и одну для предмета, который будет получаться один необычный. Также есть стол, где мы берём предметы для крафта.

Мы реализовали список заданий, при помощи которого игроку можно будет легко разобраться в механике игры.

### **Список литературы**

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М., 2020 г. – 400 с.

2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ «НЕКСТБОТ VR»

*Верлинский М.В.*  
*МАОУ гимназия № 13, 10 класс, г. Томск*  
*Тел. +79526863613*  
*E-mail: demiron75@gmail.com;*  
*Руководитель: Михайлов Д.В.: педагог ДО*  
*ДТ «Кванториум», г. Томск*

В нынешнее время очень популярны видеоролики, в которых разработчики создают программы, с использованием 3D модели, которые является чем-то страшным и ужасающим. Также разработчики делают запрограммированного актера агрессивным по отношению к пользователю. Задача пользователя убежать от сущности, которая должна вас догнать. К «NPC» (от англ. Non-player character – Неигровой персонаж) добавляются жуткие звуки, музыку, которую они постоянно воспроизводят. Чаще всего они быстрее пользователя, и последнему приходится использовать особенности игрового уровня. Жанр подобных видеороликов называется «NextBot chase».

Доктор психологических наук, профессор кафедры психологической помощи Российского государственного педагогического университета А. И. Захаров отмечал, что тревога и страх объединяются общим чувством беспокойства. Но, в отличие от страха, тревога – это «эмоционально заострённое ощущение предстоящей угрозы». Чаще всего тревога возникает как ожидание какого-то события, которое трудно прогнозировать и которое может угрожать неприятными последствиями.

У нашей команды стоит цель разработать приложение во виртуальной реальности, которая будет вызывать эмоции у пользователя. В нашем приложении можно тренировать реакцию, убегая от враждебных персонажей (рис. 1), а также тренировать логику, разгадывая загадки для прохождения игры.

Полноценных аналогов игр в жанре «НекстБот» по виртуальной реальности нет. Но на персональном компьютере и мобильных устройств значительное количество. И так как в категории виртуальной реальности нет полноценных аналогов, команда решила разработать свой проект в этом жанре. Проект разрабатывается на игровом движке «Unreal Engine» [2], а создание 3D моделей производится на графическом редактор «Blender» [1]



*Рис. 1. Враждебный персонаж*

Задачами проекта являются до конца 2023 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., 2020г. – 400 с.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.

## ПРОБЛЕМЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЛЬС ПАССАЖИРСКИХ КРЕСЕЛ САМОЛЁТОВ АН-24 И АН-26-100

*Глушков А.И.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, МБОУ г. Иркутска СОШ №23, 10 класс*

*Руководитель: Рейнгольд М.Г.*

В настоящее время проблема поставки запчастей остро встает на всех типах воздушных судов. Современные самолеты, выпущенные за границей, как и самолеты, выпущенные на территории бывшего СССР, нуждаются в запчастях и комплектующих. Проблема с поставками запасных частей для иностранной техники решается путем параллельного импорта, как правило через республики бывшего СССР, страны ближнего востока, Китай. С самолетами типов: Ан-24, Ан-26-100 проблема поставки запчастей стоит гораздо серьезнее, так как заводы, выпускавшие данные самолеты закрыты, либо находятся на территории Украины. В связи с этим поставки запчастей крайне ограничены, или невозможны. Поиск кондиционных запчастей, отвечающих требованиям аутентичности, занимает у логистических отделов огромное количество времени. Зачастую сложно найти не только сами запасные части или уже готовые изделия, но и материалы для их производства. Также решение данной задачи осложняется отсутствием производственных мощностей, либо их неспособностью выдержать заложенные в производство деталей стандарты. А также зачастую отказом от производства малых партий и штучных изделий. Ввиду продолжительной эксплуатации самолета, значительно превышающей назначенный срок службы, возникают нехарактерные отказы и неисправности, устранение которых требует повышенных усилий для поиска запчастей и материалов. Частными авиакомпаниями предпринимаются попытки приобретения самолетов, находящихся в летной годности, в странах ближнего востока и республик бывшего СССР, что призвано хоть ненамного улучшить общего состояние авиапарка и положения с запчастями. К сожалению, данные меры имеют лишь временный характер, и не всегда способны значительно изменить ситуацию.

Мой отец работает ведущим инженером по планеру и двигателям в авиакомпании «ИрАэро» и для заказа на авиаремонтном заводе № 308 г. Иваново и дальнейшего проведения ремонта самолета Ан-24 и Ан-26-100 авиакомпании был необходим цифровой двойник рельс, на которые устанавливаются пассажирские кресла. В будущем необходимо заказывать их изготовление на предприятиях, аккредитованных для производства деталей и комплектующих для авиационной промышленности, что позволит авиакомпании «ИрАэро» продолжить выполнение рейсов по перевозке пассажиров в отдаленные районы: Иркутской области, республики Саха (Якутия), Магаданской области, Хабаровского и Приморского краев. В январе 2023 года он поручил мне изготовить цифровой двойник по поручению завода.

**Цель:** изготовление цифрового двойника рельс крепления пассажирских кресел самолетов Ан-24/Ан-26-100.

### **Задачи**

1. Получить образец детали
2. Снять точные размеры
3. Сделать чертёж
4. Провести 3D-моделирование в системе автоматического проектирования
5. Выгрузить из САПР чертежи по действующему ГОСТ
6. Проследить весь путь изготовления деталей от передачи чертежей на завод до получения партии готовых изделий и установки в самолёты

Мне был предоставлен полноценный образец самого рельса, измерив который я мог создать 3D модель и сам чертеж. Как оказалось, рельс оригинальной конструкции осталось крайне мало. В качестве САПР мною выбрана программа «Компас-3D». Выбор



именно этой САПР обусловлен тем, что мне уже приходилось ею пользоваться, а также то, что «Компас-3Д» она специально создан, для проектирования по ГОСТ.

Для начала я измерил общую высоту и ширину образца с помощью штангенциркуля. По этим размерам создал скетч в виде прямоугольника, с соответствующими размерами. Деталь симметрична, что значительно облегчает создание модели. Убрал лишние части рельс с помощью команды «Вырезать выдавливанием», я смог выделить тот нижний участок, который мне был нужен. Я решил, что сначала можно создать вырез в центре этого выступа. После этого я решил сделать еще один вырез снизу вдоль всего нижнего, для более простого продолжения работы. Далее было необходимо сделать эскизы окружностей, которые были вдоль всей детали. Одним из последних шагов, стало выдавливание этих эскизов. После этого для придания более схожего вида я применил сглаживание там, где это было нужно. Это стало финальным шагом в создании этой модели. В итоге создание чертежа успешно завершено в марте 2023 года, выгруженная в формат STL модель соответствует габаритам реального прототипа. Созданные материалы позволяют отправить на авиаремонтный завод задание на изготовление необходимой детали. Все полученные чертежи в соответствии с ГОСТ, исходный файл модели доступны по этой ссылке: <https://disk.yandex.ru/d/JANG5eUs3j1kAg>.

После предоставления чертежа отдел логистики авиакомпании ИрАэро направил запросы потенциальным изготовителям деталей. Одним из таких изготовителей является АР3412. Это предприятие было основано в 1955 году на базе Ростовского аэропорта ГВФ<sup>(1)</sup>. Нанём была налажена работа с турбовинтовыми двигателями АИ-20, в 1960-1990-х годах был освоен ремонт самолетов АН-10, АН-12, АН-24, ИЛ-18, ТУ-134А, АН-26. На данный момент Ростовский завод гражданской авиации № 412 – одно из крупнейших предприятий по ремонту и обслуживанию воздушных судов на Юге России. Моторный комплекс включает в себя цех по ремонту авиационных двигателей, цех ремонта агрегатов, гальванический цех, моторно-испытательную станцию, способную обеспечивать весь комплекс испытаний авиадвигателей АИ-24 и АИ-20М. В гальваническом цехе производятся все виды гальванических покрытий. В производстве широко используются электрохимические методы обработки деталей и термическая обработка. Применяются приборы диагностического и неразрушающего контроля деталей и отдельных узлов двигателей и агрегатов.

Также запрос на изготовление был отправлен на АРЗ 308<sup>(2)</sup>. Этот авиаремонтный завод ведёт свою историю от мастерских по ремонту и обслуживанию авиационного звена самолётов «Ю-21», сформированных 4 марта 1925 года. Но лишь через 15 лет, незадолго до войны, мастерские получили самостоятельное производственное назначение. На их базе была создана 166-я стационарная авиационная мастерская. В конце 1950-х годов на заводе ежегодно ремонтировалось более 200 самолётов Ли-2 и АН-2, а также более 600 двигателей АШ-62ИР. В середине 1970-х годов завод освоил ремонт самолётов АН-24 и АН-26, а к 1982 г. АН-22 и АН-30. Семидесятые и восьмидесятые годы прошлого столетия – это время интенсивного технического переоснащения и внедрения новых технологий. За 75 лет, со дня образования завода, было выпущено из ремонта более 5,5 тысяч самолётов, более 6 тысяч единиц средств связи и радиотехнического обеспечения полетов. В настоящее время ОАО «308 АРЗ» – предприятие, осуществляющее ремонт более 10 типов самолётов и их модификаций, и единственное в Российской Федерации ремонтирующее самолёты АН-22, АН-30, АН-32.

Эти предприятия являются основными производителями авиаремонтных работ, поэтому ИрАэро в первую очередь отправила запрос на выполнение заказа к ним. К сожалению, в обоих случаях был получен отказ по причине малого объема партии. Крупные авиаремонтные заводы в настоящее время не берутся за выполнение небольших заказов меньше 800кг. Причина тому высокая загрузка государственным заказом и небольшая коммерческая выгода. Также имеют место случаи банального отсутствия сертифицированного материала, а именно Д16АТ<sup>(3)</sup>. Это сертифицированный материал и по стандарту применение в производстве других сплавов запрещено, обусловленное тем, что в проект-

ной документации самолета Ан-24 указан именно он без варианта замены на аналог. Даже использование схожего сплава Д16 уже будет нарушением ГОСТа. Основные отличительные качества Д16АТ перед Д16 заключаются в том, что при производстве Д16АТ происходит дополнительная закалка и плакирование дополнительными слоями алюминия. Хотя сам по себе металл заготовки не является дорогим, стоимости ему прибавляет дефицит на рынке, так как министерство обороны Российской Федерации сейчас выкупает значительную долю производимых материалов для авиапромышленности.

Однако существуют и менее крупные производители авиационных деталей, которые даже при всех столь неблагоприятных условиях берутся за выполнение коммерческих заказов гражданских авиакомпаний. Компании ИрАэро удалось найти исполнителя работ, предприятие из города Ростов-на-Дону. Выполнен предзаказ, но его выполнение отложено на второй квартал 2024 года. Отсрочка вызвана отсутствием необходимого материала в достаточном количестве и загруженностью предприятия-изготовителя другими заказами. Фактически, заказ авиакомпании ИрАэро стоит в очереди.

### **Вывод**

Логистические цепочки поставок авиакомпаний запчастями, в этой ситуации достаточно сложны, как правило логисты частных авиакомпаний вынуждены искать не только готовые запчасти, но и материалы для их изготовления, и предприятия готовы взяться за изготовление необходимой детали. Нередко встречаясь с такими проблемами, как отсутствие необходимой для изготовления данной детали документации, приходится и самостоятельно моделировать необходимую к заказу деталь. Необходима организация разветвлённой сети ремонтных предприятий и предприятий авиационной промышленности, а также институтов, занимающихся проблемами авиации и конструкторских бюро, способных на новом технологическом уровне разрабатывать и внедрять передовые технологии производства и ремонта авиатехники, что в свою очередь повлечет необходимость в высококвалифицированных кадрах и высокоточном оборудовании.

### **Список источников**

1. «Ростовский завод гражданской авиации № 412» <https://www.aviaport.ru/directory/aviafirms/296/>.
2. «308 авиационный ремонтный завод» <https://www.aviaport.ru/directory/aviafirms/2729/>.
3. «Алюминий Д16АТ – сплав, свойства, характеристики» <https://nfmetall.ru/articles/48.html>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ «ДРОН-КОНСТРУКТОР»

Гончаров М.В.<sup>1</sup>, Попков М.А.<sup>2</sup>, Капитоненко И.А.<sup>3</sup>, Вялов А.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>МАОУ СОШ № 34, 9 класс

E-mail: Gon4arowmack@yandex.ru;

<sup>2</sup>МАОУ СОШ № 37, 10 класс,

E-mail: mpopkov13@gmail.com;

<sup>3</sup>МАОУ СОШ № 34, 10 класс,

E-mail: asasinkillerboy@gmail.com;

<sup>4</sup>МАОУ гимназия №55, 10 класс,

E-mail: artyom2007maksimovich@gmail.com;

АНО ДО ДТ «Кванториум», г. Томск

Руководитель: Михайлов Д.В.

педагог ДО ДТ «Кванториум», г. Томск

Что такое дрон? Само название происходит от английского «drone», что можно перевести и как «трутень», и как «гул» или «жужжание». Термин отлично подходит для классических дронов-коптеров, в зависимости от сферы применения, конструкция дрона может различаться, но общими знаменателями остаются наличие пропеллеров, которые необходимы для полёта и маневрирования в воздухе (в зависимости от их количества устройство может также называться моно- би- три- quadro- и т. д. коптером) и система связи, позволяющая управлять устройством дистанционно.

К примеру, ещё в 2018 году на открытии Олимпийских игр в Южной Корее Intel продемонстрировала грандиозное световое шоу (точнее, его запись) с синхронным полётом более тысячи дронов, которое попало в Книгу рекордов Гиннеса. В целом же сферы применения БПЛА [1] можно разделить на несколько крупных групп:

Дела разведки: Дроны используются для удалённой разведке наземных целей.

Логистика и транспорт: в эту группу входят, в основном, проекты различных компаний по доставке грузов на малые расстояния. Большая их часть в данный момент находится на стадии разработки из-за серьёзных законодательных и технических ограничений. Также сюда можно отнести применение дронов в качестве беспилотных такси в городах.

Картография и география: Уже довольно давно дроны используют для создания карт труднодоступных для посещения человеком мест. Так же, в прочем, снимки с дронов можно использовать для создания карты любой, даже доступной для посещения человеком мест.

Потребительские дроны – самая широкая группа, в неё входит огромное количество устройств, от совсем дешёвых и миниатюрных до аппаратов стоимостью в несколько тысяч долларов. Используются эти БПЛА в спортивных соревнованиях, фотосъёмкой пейзажа и т. д.

Сельское хозяйство и промышленность: учитывая высокую маневренность дронов и возможность установки на них дополнительного оборудования, эти устройства всё чаще начинают использоваться для решения сельскохозяйственных задач, например, для оценки качества посевов или опрыскивания полей, создания трёхмерных карт местности и ведения аэрофотосъёмки. Также дроны могут применяться для проведения осмотров крупных промышленных объектов.

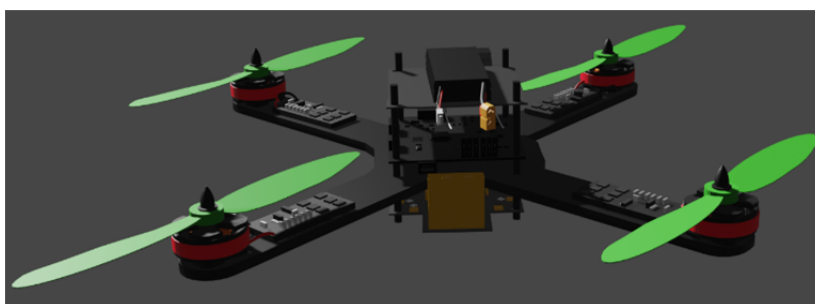


Рис. 1. 3D-модель Самоборного Дрона

Разберём основные составляющие классического самосборного дрона (рис. 1), 3D-модель которого используется в проекте нашей команды «Приложение Дрон-конструктор». Проект создается на базе игрового движка «Unreal Engine 4» [3] с помощью блочного программирования «Blueprint's» (рис. 2). 3D модели воссоздаются на базе графического редактора «Blender» [2]. С данным проектом мы принимали участие на многих событиях. В том числе, благодаря нему мы попали на «Первый Всероссийский Форум Кванторианцев».

1. Корпус. Основа всего дрона, к которой прикрепляются все комплектующие БПЛА. Чаще всего делается из алюминия, но иногда и из сплавов алюминия с другими металлами.

2. Блок распределения питания. Прикрепляется к центральной части корпуса. Главная задача этого блока – распределить и направить к каждому двигателю необходимое количество питания.

3. Полётный контроллер. Располагается над блоком распределения питания. Его задачей является контроль за мощностью и скоростью оборотов каждого из двигателей, передача им нужной информации.

4. Двигатели. Важная составляющая дрона, благодаря которой непосредственно и осуществляется полёт. Вращается с определённой мощностью, двигатели вращают пропеллеры и дрон отталкивается от земли.

5. Пропеллеры. Надёжно прикрепляются в специальное отверстие на двигателе; сделаны из прочного пластика. Благодаря вращению пропеллеров с высокой скоростью создаётся мощный воздушный поток, поднимающий дрон.

6. Аккумулятор. Энергетическая основа дрона, которая осуществляет работу.

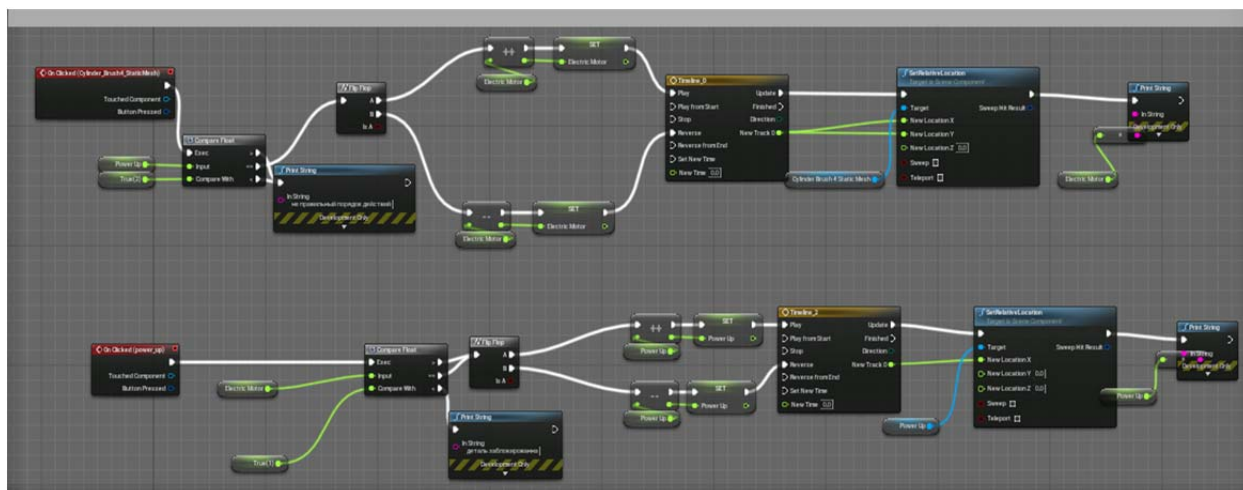


Рис. 2. Blueprint's

### Список литературы

1. Макаров И.М., Рахманкулов В.З., Ахрем А.А. / Виртуальное моделирование и интеллектуальное управление сложными компьютерно-интегрированными системами С. 11–24.
2. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М., 2020 г. – 400 с.
3. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.

## 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;*

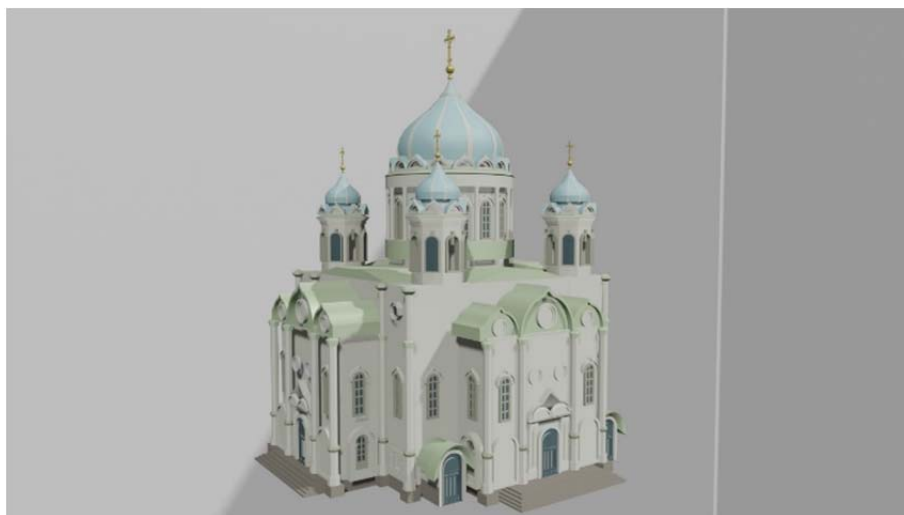
*Батухтин А.А., ученик 8 кл.*

*E-mail: Batuhatinaab@mail.ru;*

*Руководитель: Михайлов Д.В. педагог ДО*

*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, навестись 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 важнейшая 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.



*Рис. 1. 3D-модель Троицкого собора*



*Рис. 2. 3D-модель Ипподрома*

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):

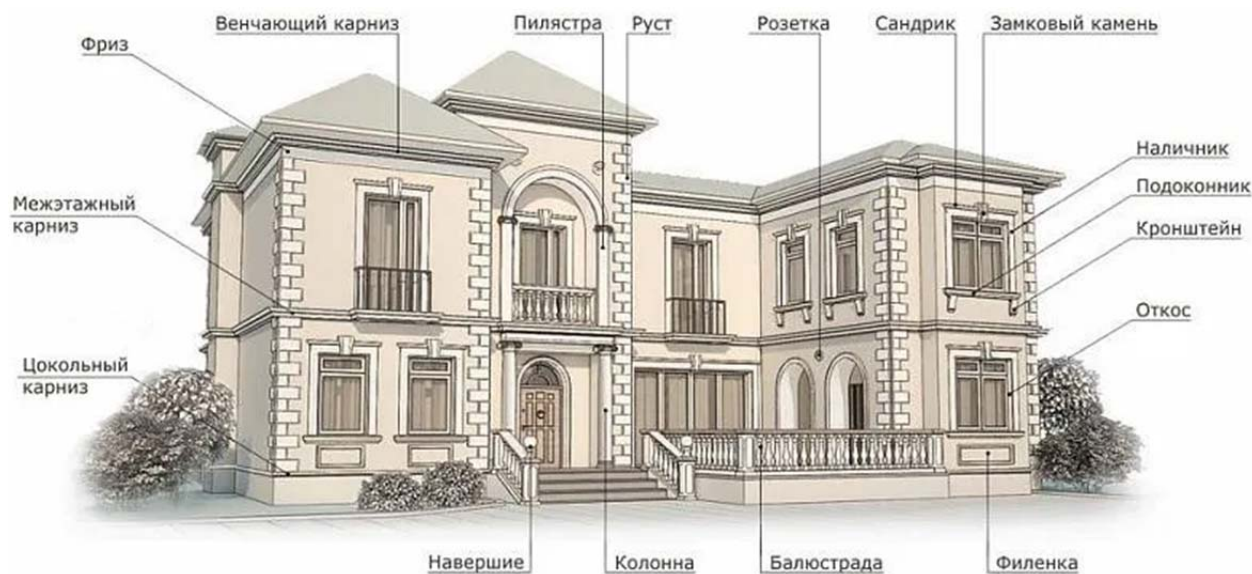


Рис. 3. Элементы фасада

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) элемент, обозначающий вершину или конец какого-либо объекта, часто выполняемый в качестве декоративного элемента.

Цокольный карниз, 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.

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., 2020 г. – 400 с.
2. Архитектурные формы и стили всех времен. Пересвет-Солтан В.В. 1932 – 450 с.



## ПРОТОТИП ДОСТУПНОГО ФОТОСЕПАРАТОРА

*Котлевский Д.О., МБОУ «Северская гимназия», 9 класс,*

*E-mail: onrossa@gmail.com;*

*Бывшенко А.В., педагог ДО,*

*АНО ДО ДТ «Кванториум»,*

*E-mail: alyona.byvshenko2002@gmail.com*

Фотосепаратор – оборудование, позволяющее осуществлять сортировку любого сыпучего материала, основываясь на его цвете.

Имеющиеся на рынке фотосепараторы не доступны, а мелкогабаритные отечественного производства, которые мог бы себе позволить каждый желающий в России отсутствуют. Поэтому на отбор посевного материала вручную людям приходится затрачивать много времени. С целью решения данной проблемы был разработан прототип фотосепаратора, который почти в 40 раз дешевле аналогов (40 тысяч рублей, против 1,5 миллионов рублей). Проблема импортозамещения на сегодняшний день стоит наиболее остро, она не обошла и агропромышленную сферу. В Россию фотоэлектронные сепараторы в основном поставляются из Китая и Японии, а отечественных производителей фотосепараторов всего двое, и в своем производстве они используют порядка 60-70 % зарубежных компонентов. Цена как зарубежных, так и отечественных фотосепараторов крайне высока для малого фермерства.

Помимо этого, для мелких фермерских хозяйств покупка крупногабаритных фотосепараторов является не рентабельной, а на рынке отсутствуют предложения с малогабаритными фотосепараторами.

По данным Росстата в России ежегодно растёт общая посевная площадь сельскохозяйственных культур, в 2022 году она составила более 80 млн га. Из них порядка 36 % приходится на фермерские угодья и хозяйства населения. [1]

Что касается Томской области, то у нас насчитывается 398 фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей, их посевные площади составляют более 94 тыс. га. [2].

В ходе работы над проектом была разработана структурная схема устройства, изображенная на рис. 1. На рис. 2 можно увидеть на примере макета, как выглядит каждая часть устройства.

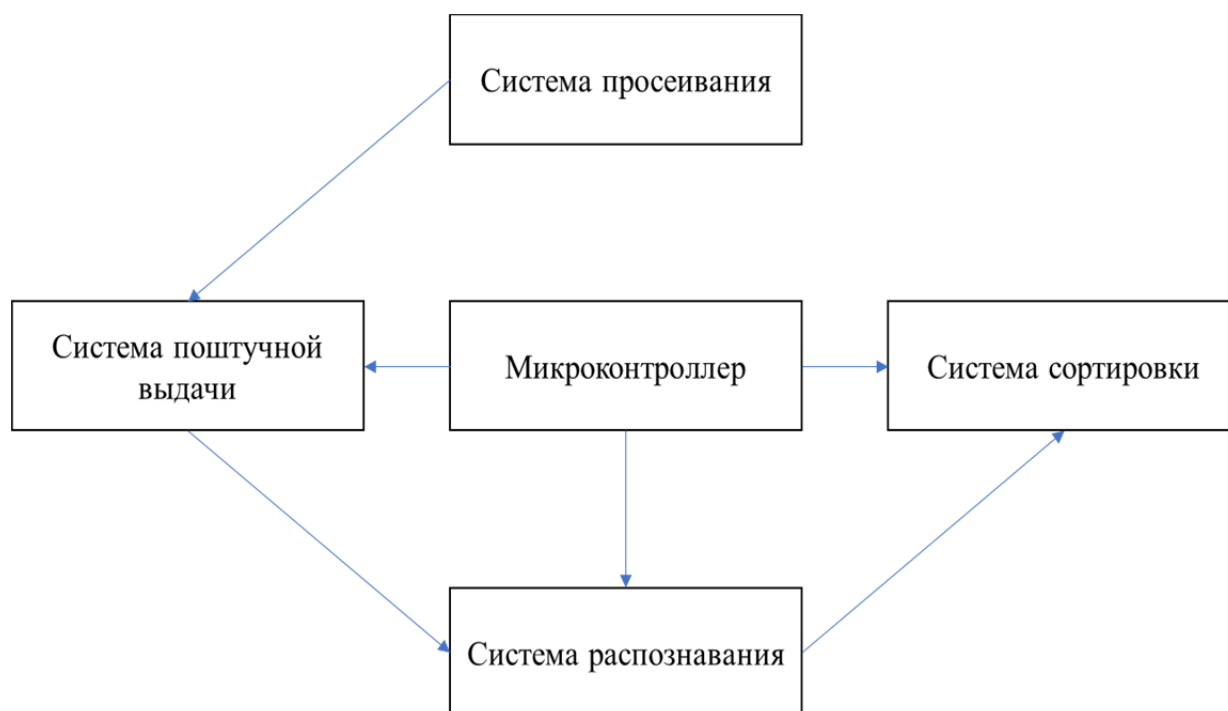


Рис. 1. Структурная схема устройства

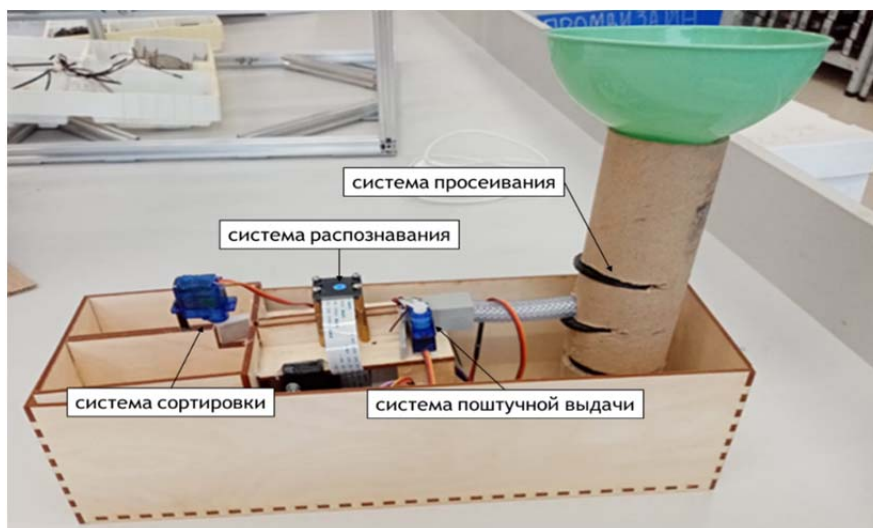


Рис. 2. Размещение систем

Данный фотосепаратор имеет следующий принцип работы: Семенной материал загружается в воронку, в которой расположены 2 ситечка. Первое ситечко большего размера для того, чтобы на нём оставался крупный сор, а второе меньшего размера, через него будут отсеиваться зерна меньшего размера, которые не пригодны для продажи, пыль и прочий мелкий мусор. В итоге в следующую систему смогут пройти только семечки подходящего размера, а именно в первое менее 5 мм, а в другое не более 2 мм

На уровне второго ситечка расположена трубка, через которую отсортированные семена нужного размера попадают к дверце для поштучной выдачи. Сервомотор, входящий в систему поштучной выдачи, с интервалом в 1 секунду открывает дверцу, и семена по одному попадают в систему распознавания, которая состоит из камеры, конвейера и желоба.

Если семечко соответствует заданным программой параметрам, то сервомотор системы сортировки отодвигает дверцу и семечко попадает в отсек бака для кондиции (очищенного материала). Если семечко не соответствует параметрам, то сервомотор отодвигает дверцу в другую сторону, и семечко попадает в отсек бака для отходов.

В ходе реализации проекта мы выполнили все поставленные перед собой в начале проекта задачи:

1. Изучили литературу по теме и аналогичные разработки;
2. Разработали структурную схему устройства;
3. Создали 3D модель;
4. Создали прототип фотосепаратора;
5. Запрограммировали прототип фотосепаратора;
6. Провели испытания.

Был создан мы создали до 1 марта 2023 года прототип малогабаритного фотосепаратора стоимостью не более 40 тыс.руб.

Данный прототип малогабаритного доступного фотосепаратора можно перепрограммировать, и тогда он сможет сортировать не только семена горчицы белой, но и любые другие семена. Также можно увеличить его производительную мощность если в один корпус объединить несколько малогабаритных фотосепараторов. Производительность будет увеличиваться пропорционально количеству объединённых в один корпус устройств.

### Список литературы

1. Растениеводство в России: урожай 2022 года, импортозамещение, статистика по экспорту. // URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rastenievodstvo-v-rossii-urozhay-2022-goda-importozameshchenie-statistika-po-eksportu/> (дата обращения 06.02.2023).
2. Статистика: в Томской области за 5 лет. // URL: <https://news.vtomske.ru/news/191956-statistika-v-tomskoi-oblasti-za-5-let-kolichestvo-fermerov-sokratilos-na-30> (дата обращения 31.10.2022).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА  
СВИРСКОГО РУДОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА  
ООО «КОМПАНИЯ ВОСТСИБУГОЛЬ»**

*Лагутин М.С.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, МБОУ г. Иркутска СОШ № 35, 11 класс  
г. Иркутск*

*Филимонов Е.В.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, Университетская гимназия (школа-интернат) МГУ  
им. М.В. Ломоносова, 8 класс, г. Москва*

*Зырянов А.В.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, МБОУ г. Иркутска Лицей № 1, 7 класс  
г. Иркутск*

*Кузякин А.А.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, МБОУ г. Иркутска СОШ № 5, 7 класс  
г. Иркутск*

*Руководители: Рейнгольд М.Г., Лагутина С.Н.*

Технический прогресс стимулирует, толкает производство к постоянному изменению, выделяют следующие позиции, по которым можно определить его эффективность, это скорость производства, качество, объемы и безопасность. Вариантом повышения эффективности работы для уже существующих производств может стать автоматизация и роботизация. Свирский рудоремонтный завод, принадлежащий ООО «Компания Востсибуголь», также имеет ряд проблем, которые требуют современных решений. Завод занимается моделированием и изготовлением необходимых компании изделий (от эскиза до выплавки из металла): закрывает потребность в расходных материалах для угольных мельниц ТЭЦ Иркутской области; изготавливает зубья для ковшей шагающих экскаваторов, работающих на карьерах Черемховского угольного бассейна; выполняет коммерческие заказы для предприятий региона. Модельный и литейный цеха завода осуществляют полный цикл литейного производства. Технологии изготовления моделей, форм и самой выплавки – надёжные, но устаревшие, с большими затратами времени. Высока доля ручного труда, многие процессы не автоматизированы, присутствуют факторы вредности и опасности.

**Цель:** разработать проект по модернизации литейного производства Свирского рудоремонтного завода, позволяющую ускорить процесс производства и минимизировать негативные факторы для работников литейного цеха.

**Задачи**

1. Знакомство с имеющимися производственными процессами литейного производства на Свирском рудоремонтном заводе;
2. Получение технического задания на проект от ООО «Компания ВостСибУголь»
3. Разработка проекта модернизации литейного производства;
4. Создание модели автоматизированного и роботизированного участка литейного производства для защиты проекта на предприятии;
5. Защита проекта на предприятии, получение рекомендации о внедрении;

С декабря 2022 по март 2023 года прошло несколько экскурсий на завод. Было составлено описание полного цикла литейного производства. Инженеры-конструкторы Свирского рудоремонтного завода осуществляют моделирование необходимых деталей в САПР Компас-3D. По распечаткам чертежей из САПР модели деталей изготавливаются модельщиками (работниками модельного цеха) из дерева и пластика. После изготовления комплекта моделей они перемещаются на тележке или грузовике по уличному переходу из модельного в литейный цех. В литейном цеху с помощью комплекта моделей подго-

тавливаются нижние и верхние полуформы для отливки заготовок. Готовые полуформы проходят виброуплотнение, после чего модели извлекаются для последующего использования, а полуформы помещаются друг на друга и фиксируются пазами либо грузами для получения полной формы под отливку детали. Далее происходит доставка форм на пост отливки. Ковш для отливки наполняется расплавленным металлом из тигеля, затем перемещается к формам мостовым краном. Управление заливкой металла в формы происходит вручную, 2-3 рабочими. После завершения отливки ковш возвращается к тигелю для заполнения металлом и повторения отливки в следующую форму. После отливки затвердевшая заготовка освобождается из формы и подготавливается к закалке путём трёхступенчатого нагрева в электропечи (техпроцесс подготовки к закалке: 6 часов при температуре 300 градусов, 1.5 часа при 600 градусов и 25 минут при 1000 градусов). Непосредственно закалка осуществляется путём опрокидывания поддона с заготовками в наполненный водой бассейн (объём более 100 м<sup>3</sup>), расположенный внутри цеха. После завершения закалки происходит извлечение остывших и закалённых заготовок из осушённого бассейна. Каждый этап производства занимает от 1 до 3 рабочих дней.

После завершения серии экскурсий была проведена встреча команды с руководством завода (директор, главный инженер, начальник литейного цеха, начальник модельного цеха), на которой команде было передано техническое задание на проект от ООО «Компания Востсибуголь» (доступно по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/xJVjYbut52ZVVQ>).

Эффективное и современное решение задачи модернизации литейного производства может заключаться в прямой печати формы для отливки с помощью аддитивных технологий, а также в оптимизации процесса отливки: большинство операций, требующих непосредственного участия человека, необходимо автоматизировать и роботизировать.

Мы предложили смонтировать в литейном цеху промышленный 3D-принтер с конвейерным столом, приспособленный для печати смесью холодного отвердевания полной формы для отливки. Для печати нависающих конструкций потребуются печать двумя материалами через 2 сопла, отдельно для песко-смоляной смеси и отдельно для легкоудаляемого материала поддержек и заполнения. Это позволит полностью устранить сложный этап подготовки модели из дерева или пластика, исключить процесс транспортировки между цехами. По готовности полной формы она автоматически выгружается конвейерным столом на большой конвейер отливки и закалки. 3D-принтер начинает печать следующей формы сразу после выгрузки заготовки на большой конвейер. Большой конвейер перемещает форму к посту отливки, к которому на закалённой термоустойчивой цепи подтягивается вагонетка с мобильным тигелем, наполненным расплавом металла. Производится отливка металла в формы непосредственно из тигеля. После завершения отливки тигель возвращается на исходную позицию (к индукционной печи за термобарьером). После отвердевания заготовки конвейер перемещает её под вибропресс, который удаляет форму из отработавшей песко-смоляной смеси вокруг заготовки. После удаления формы заготовка поступает в электропечь для подготовки к закалке. Техпроцесс подготовки к закалке не отличается от используемого в настоящий момент. Ускорение производства на этом этапе достигается тем, что после завершения подготовки к закалке заготовка выводится из печи и сбрасывается с конвейера в бассейн с водой. После полного остывания заготовка выводится конвейером со дна бассейна на пост приёма, откуда забирается на технический контроль, механическое удаление изъянов и формирование груза для отправки заказчику роботизированным транспортом. В управлении решением участвуют 2 поста управления: У1 (пост автоматического управления механизмом изготовления форм) и У2 (пост автоматического управления механизмом отливки и закалки). В процессе производства используется несколько оптических датчиков, контролирующих прохождение форм и заготовок через посты, по данным которых иницируется следующий шаг схемы и останавливается предыдущий. Схема проекта автоматизации участка доступна по ссылке <https://disk.yandex.ru/i/cPA1-jxldAzaBg>.

Модель производства, демонстрирующая наши предложения по автоматизации производства, была выполнена на базе 2 образовательных робототехнических наборов LEGO MINDSTORMS EV3. Вид модели и демонстрация её работы доступны по ссылке <https://youtu.be/zRpGbGFCIfg>.

Программное обеспечение модели создано на текстовом языке программирования EV3Basic, состоит из 2 разных программ (каждая для своего модуля управления), доступно по ссылке <https://disk.yandex.ru/i/m1p81zq99CTJSQ>.

Защита проекта на производстве состоялась в конце марта 2023 года, получены рекомендации о внедрении (доступны по ссылке <https://disk.yandex.ru/i/v1Vk1PnNVokPzw>), заключено соглашение о дальнейшем сотрудничестве с ООО «Компания Востсибуголь».

### **Выводы**

Представленный к защите на производство проект позволяет значительно сократить время выполнение внешних и внутренних заказов для литейного производства Свирского рудоремонтного завода. За счёт исключения присутствия человека в зоне производства исключается воздействие факторов вредности и опасности. По результату успешной защиты проекта на производстве созданная нами модель дорабатывается для презентации совету директоров ООО «Компания Востсибуголь» в ноябре 2023 года.

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАК ВОЗМОЖНОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Луковников Н.С.*

*МБУДО г. Иркутска ЦДТТ, МАОУ г. Иркутска Лицей ИГУ, 7 класс*

*Руководитель: Рейнгольд М.Г.*

В настоящее время повсеместно поднимается вопрос о необходимости сохранения исторической памяти народа – в каждом уголке нашей необъятной Родины. В городах можно встретить памятники отдельным достижениям технического прогресса и машиностроения, однако доля их в общем количестве малых архитектурных форм незначительна. Исследуя материалы о крупных военно-мемориальных комплексах России, я обнаружил информацию о Широкореченском мемориальном комплексе, где похоронены в том числе и воины, ушедшие на фронт в годы Великой Отечественной войны, ранее работавшие на Уральском бронетанковом ремонтном заводе, Уральском турбинном заводе и иных предприятий региона. Кроме того, разработка художественного оформления мемориала и последующее изготовление металлического обрамления стелы осуществлялись на крупных заводах города, так как Уралмаш, Эльмаш, Химмаш, заводах имени Калинина и Свердлова, заводе № 333.

К сожалению, данный памятник не известен широкому кругу людей, хотя он может рассказать не только об истории Великой Победы, но и об определённом периоде машиностроения и производства в годы войны. Я решил воссоздать этот комплекс с применением 3D-технологий.

**Цель работы:** создание макета Широкореченского военно-мемориального комплекса с применением аддитивных технологий, как пример демонстрации возможностей 3D-моделирования в вопросе сохранения истории машиностроения.

### **Задачи**

1. Изучить историю памятника.
2. По фотографиям воссоздать внешний вид объекта на чертеже.
3. Создать 3D-модель, распечатать её, выполнить постобработку и соотнести с реальным объектом.
4. Оценить итоговую работу.

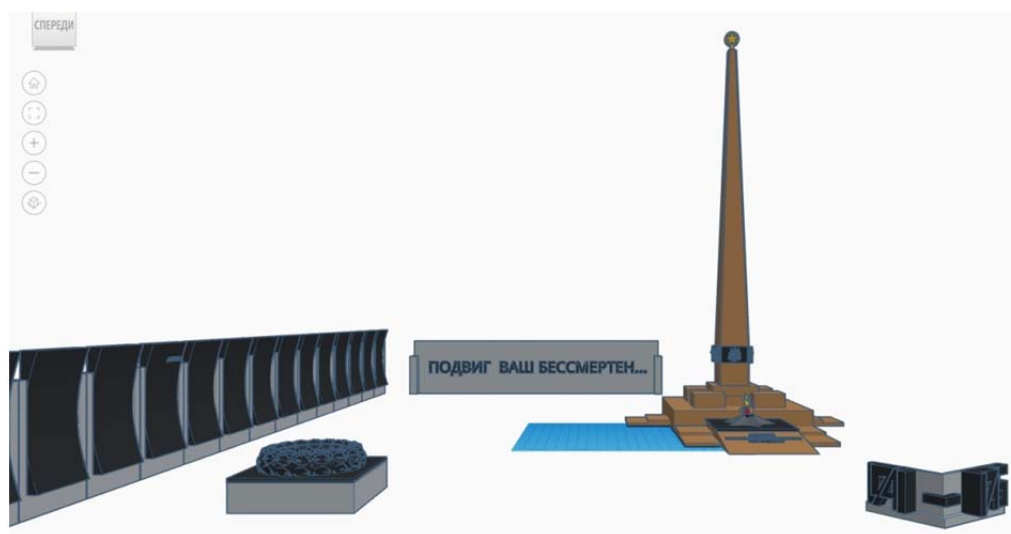
Результатом моей работы предполагалось изготовление макета, который, как изделие, должен соответствовать ряду критериев: соответствовать прототипу, быть красивым и соответствовать назначению; конструкция изделия должна соответствовать выбранной модели и размерам; изделие должно быть недорогим, прочным и качественно изготовленным. Исходя из необходимых критериев, мною была составлена таблица с характеристиками (табл. 1).

Для создания 3D-моделей были выбраны программы Autodesk Fusion 360. Работу я начал с замеров памятника по фото и информации из интернета. 3D-копию я решил делать в масштабе 1:40. В результате работы были созданы 3D-модели стелы с окружающими объектами, отдельные элементы «стены памяти», основание, декоративные полотна для стелы (Знамя и Орден), Вечный огонь, Венок Памяти, цифры с датами войны, памятная стена. После готовности стелы я разделил объект для печати на три части в связи с тем, что максимальная возможная высота печати на моём принтере не соответствовала высоте итоговой модели. Изначально я сделал Вечный огонь и смоделировал языки пламени, но в итоговом варианте, я заменил их на светодиод, посчитав, что нагляднее будет именно с «горящим» пламенем.

*Характеристики макета*

Название	Ширококореченский мемориальный комплекс
Функциональное назначение	Демонстрация уменьшенной копии памятника истории нашей Родины
Пользователь	Широкий круг пользователей
Единичное или массовое производство	Единичное, возможно повторное изготовление
Размеры	около 60×40×30 см
Материал	Пластик PLA, полимерная глина, акриловая краска, радиодетали и электронные компоненты
Метод изготовления	3D-моделирование, 3D-печать, механическая постобработка, склеивание деталей, покраска, пайка
Требования к безопасности использования	6+, изделие не предназначено для детей раннего возраста, т.к. содержит мелкие детали и радиодетали
Экологические требования	Использован экологически чистый материал PLA не приносит вред человеку и окружающей среде, возможна переработка. Электронные компоненты и батарейки подлежат отдельной утилизации после выхода из строя

Итогом работы стал не только макет военно-мемориального комплекса, но и его электронная 3D-модель, которая позволяет приблизить объекты и отдельные элементы декора для детального рассмотрения (рис. 1).



*Рис. 1. 3D-модель Ширококореченского военно-мемориального комплекса*

### **Вывод**

По результатам проделанной работы гипотеза подтвердилась: с применением аддитивных технологий можно воссоздать исторические объекты для дальнейшей демонстрации на мероприятиях исторической направленности, в том числе в качестве экспонатов выставок. Как первый пример я изготовил макет памятника – Ширококореченского военно-мемориального комплекса. При этом требовалась очень большая точность, особенно при замерах и переносим их в масштабе для выполнения 3D-моделей. Однако, после готовности 3D-модели в будущем её можно без труда печатать повторно. В дальнейшем я планирую изготовление макетов памятников разных периодов истории машиностроения.



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

*Макаров И.В., МАОУ СОШ № 28, 10 класс, г. Томск*

E-mail: makarov.ilya2006@mail.ru;

*Остапенко А.В., 1 курс, НИ ТПУ, ИШНКБ*

E-mail: klackas47@gmail.com;

*Бывшенко А.В., педагог ДО,*

*АНО ДО ДТ Кванториум*

E-mail: alyona.byvshenko2002@gmail.com

Экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВИ) – тип теплоизоляции, предназначенной для ограничения притоков тепла от излучения. Состоит из множества параллельных отражающих экранов с низкой излучательной способностью и отделяющих их друг от друга прокладок [1].

Целью исследования является выяснение опытным путем эффективности применения экранно-вакуумной изоляции (ЭВИ) при конструировании спутника формата CubeSat.

ЭВИ применялась в рамках проекта по моделированию стрессовых условий в стратосфере для биологического объекта и оценки их влияния на дальнейшую жизнедеятельность.

В качестве биологического объекта, как наиболее подходящего для космоса, был взят горох за счет скорости роста, своей мощной корневой системы и общем богатстве витаминов и микроэлементов, содержащихся в нем.

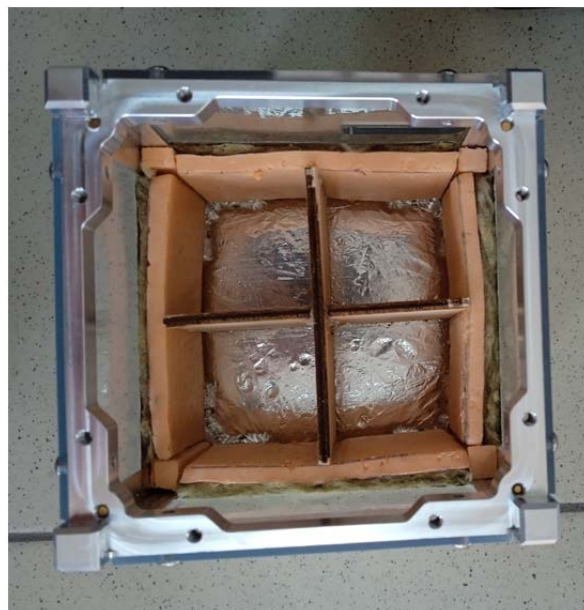
Для конструирования теплицы были взяты следующие материалы:

1. Фольга и стеклоткань используются для экранно – вакуумной изоляции, они изображены на рис. 1.
2. Пеноплэкс [2] для теплоизоляции.
3. Стенки из фанеры, разделяют теплицу на несколько отсеков.



*Рис. 1. Экранно-вакуумная изоляция стратосферного спутника*

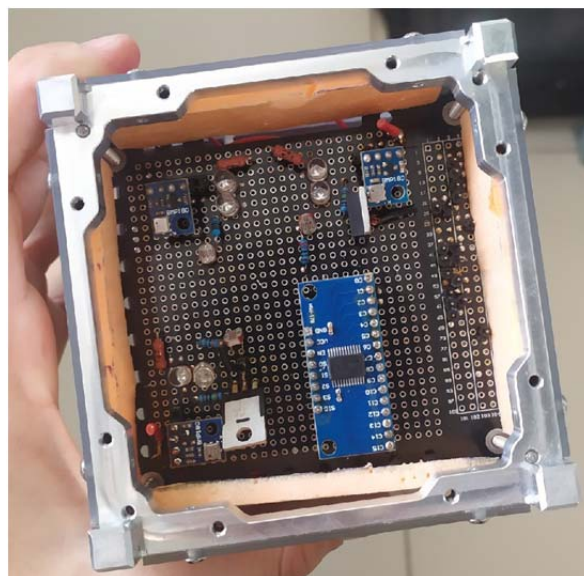
На рис. 2 представлена готовая теплица внутри спутника.



*Рис. 2. Теплица внутри спутника*

В качестве электроники использовались 3 барометра BMP180, для измерения давления и температуры, а также для получения данных о высоте полета, 6 ультрафиолетовых светодиода для имитации солнечного света и 3 фоторезистора для фиксации значений освещенности внутри теплицы.

На рис. 3 представлена плата полезной нагрузки.



*Рис. 3. Плата полезной нагрузки*

В ходе эксперимента опытные группы растений были успешно запущены в стратосферу, телеметрия отработала в штатном режиме. На максимальной высоте полета, составляющей 20,47 км, давление внутри теплицы опустилось ниже 50 мм.рт.ст., что соответствует давлению вне спутника [3], а температура достигла 0 °С, что на 50 °С выше внешней температуры.

По итогу эксперимента один росток гороха смог продолжить жизнедеятельность на земле. На рис. 4 видно, что температурный диапазон внутри теплицы составил от 42 °С до –5 °С. Диапазон температуры вне спутника составил от 35 °С до –50 °С, график зависимости температуры атмосферы в зависимости от высоты изображен на рис. 5.

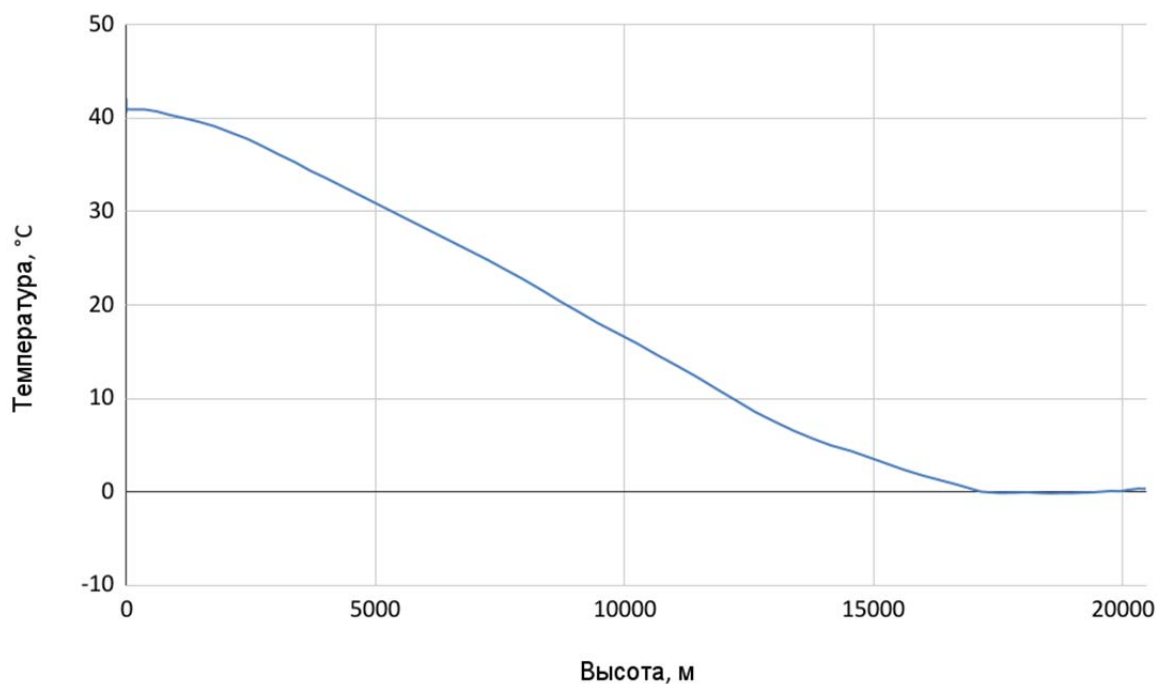


Рис. 4. График зависимости температуры от высоты внутри спутника

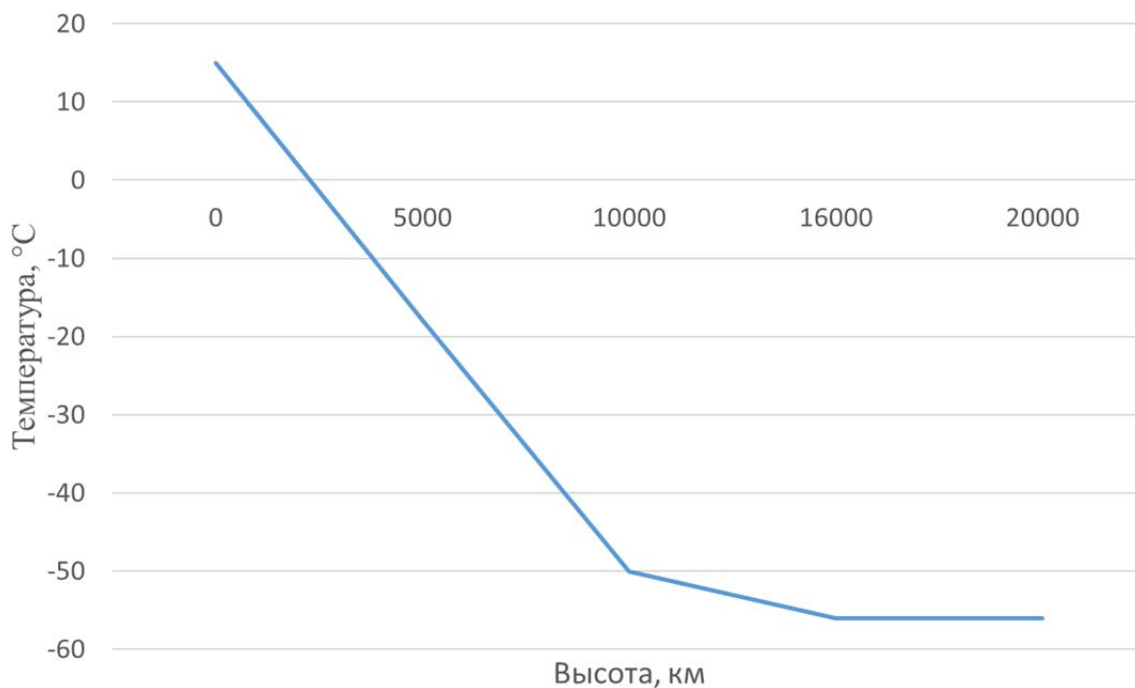


Рис. 5. График зависимости температуры от высоты внутри спутника

Результат эксперимента и достигнутая разница температур внутри и вне спутника доказывают эффективность применения экранно-вакуумной изоляции в космическом (или приближенном к нему) полете.

### Список литературы

1. Экранно-вакуумная изоляций // Сайт – 2021 – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-layer\\_insulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-layer_insulation)(дата обращения 03.10.23).
2. Преимущества Пеноплэкс // Сайт. – 2023. – URL: <https://www.penoplex.ru/lib/pros/> (дата обращения 03.10.23).
3. Атмосфера Земли // Сайт. – 2023. – URL: [https://nearspace.ru/?page\\_id=327](https://nearspace.ru/?page_id=327) (дата обращения: 09.10.23).

## НАГЛЯДНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ИНСУЛЬТЕ

*Пантюхина Л.Ю.<sup>1</sup>, 9 класс, Остердак А.А.<sup>1</sup>, 9 класс*

*<sup>1</sup>МАОУ Подгорнская СОШ*

*Сергеева З.А.<sup>2</sup>, 8 класс*

*<sup>2</sup>МАОУ Кожжевниковская СОШ № 1*

*Руководитель: Шулякова Р.Р.*

*ДТ «Кванториум», педагог ДО*

Цель работы: разработка 3D-моделей для ознакомления с алгоритмом первой помощи при инсульте.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- собрать информацию об этапах первой помощи при инсульте;
- создать скетч
- создать 3D модели.

Инсульт – прекращение кровоснабжения и функционирования участка головного мозга в результате повреждения сосуда. Без своевременного лечения может значительно нарушиться функции мозга и человек может умереть или стать инвалидом. От инсульта никто не застрахован, он может случиться в любое время и в любом месте.

Меры первой помощи при инсульте – это комплекс действий и мероприятий, направленных не только лишь на спасение жизни больного. От времени и правильности ее оказания зависит возможность восстановления поврежденных клеток мозга и функциональных способностей нервной системы. По данным зарубежных и отечественных специалистов оптимальный срок для доставки больного в лечебное учреждение – 3 часа с момента заболевания (чем раньше, тем лучше). Поскольку необратимые изменения в головном мозге формируются в течение нескольких часов.

К сожалению, большинство людей слабо представляют какой должна быть первая помощь при инсульте. Изучение научных статей требует времени и специальных знаний.

Скетч и 3D модели позволят продемонстрировать этапы оказания помощи, правильное положение тела пострадавшего, это позволит получить необходимую информацию в простой и понятной форме для своевременного оказания помощи. Нанести непоправимый вред неправильными действиями.

В процессе работы над проектом использовалась научная литература, информация из интернета, программы: 3D-редактор Blender 3.4, приложение ibis Paint X, оборудование: планшет, стилус, компьютер.

Этапы выполнения проекта:

1. Распределение ролей в команде;
2. Поиск литературы и изучение информации о заболевании и методах оказания помощи;
3. Создание скетча (рис. 1);
4. Изучение программ для моделирования;
5. Создание 3D-моделей в 3D-редакторе Blender 3.4;
6. Оформление результатов работы.

На данном этапе получены 3D-модели с указанием информации начального действия (рис. 2), правильного положения, заболевшего до приезда скорой помощи (рис. 3), метода оказания первой помощи (рис. 4).



Рис. 1. Скетч

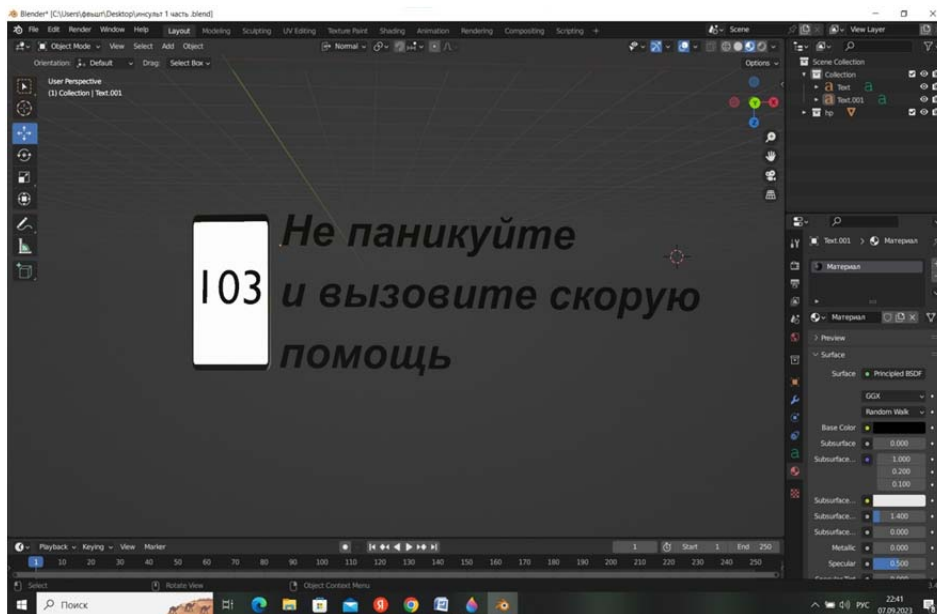


Рис. 2. Вызов Скорой помощи

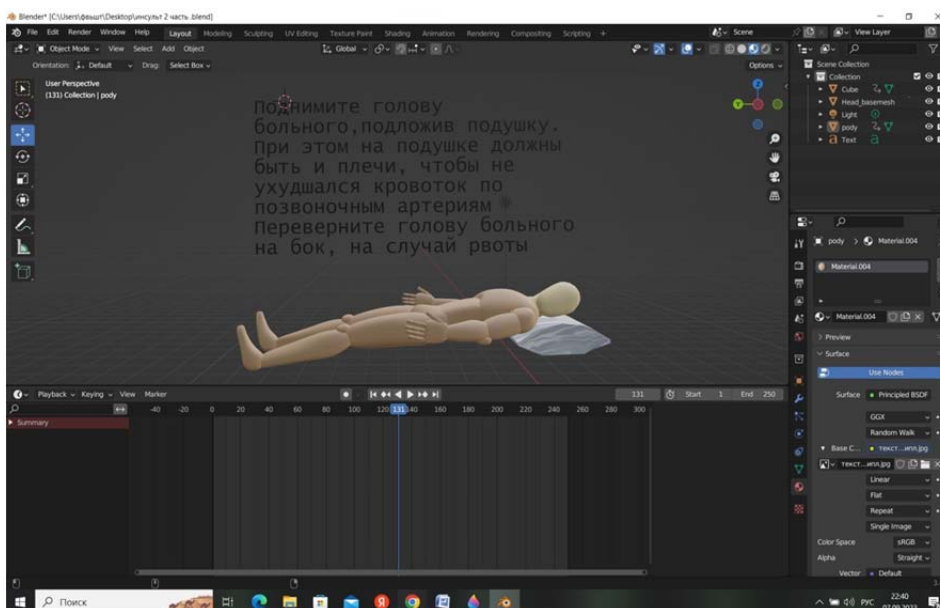
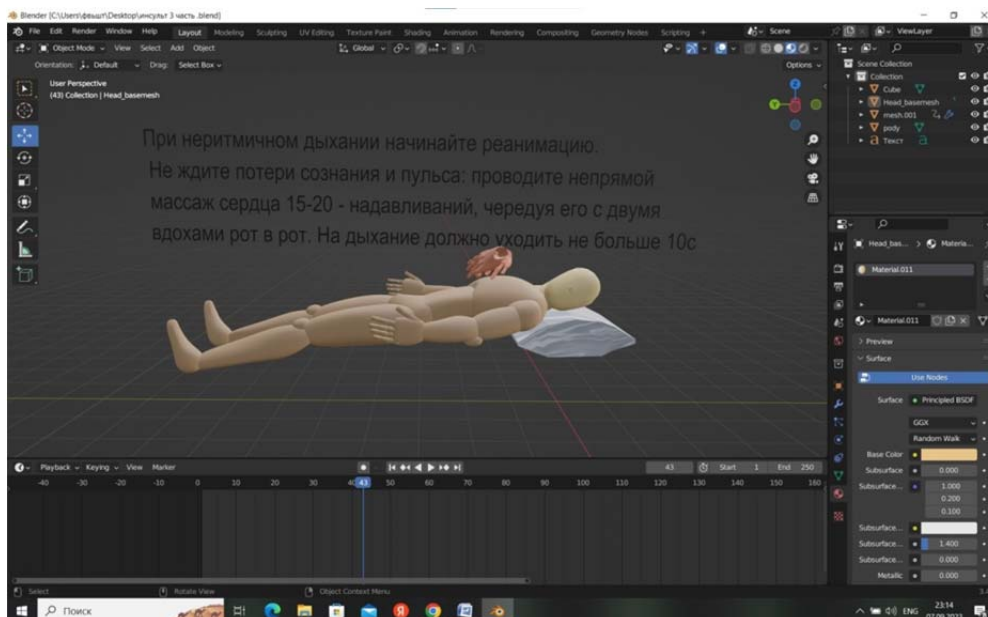


Рис. 3. Положение больного





*Рис. 4. Первая помощь*

Созданные 3D-модели позволяют изучить алгоритм первой помощи при инсульте наглядно, что намного легче и быстрее чем изучение объемной текстовой информации.

Целевая аудитория данного проекта – все заинтересованные, не равнодушные лица.

Проект создан на бесплатном программном обеспечении Blender 3D.

Результат: создана 3D модель алгоритма первой помощи при инсульте.

Планируется создание приложения по алгоритму первой помощи при инсульте.

### **Список литературы**

1. Инсульт. Симптомы, первая помощь, методы восстановления / В.Н. Амосов, М.В. Смирнова, Издательство: Вектор, 2013 г.

2. Признаки инсульта и оказание первой помощи [https://prioritet03.ru/247\\_priznaki\\_insulta\\_i\\_okazanie\\_pervoy\\_pomoschi](https://prioritet03.ru/247_priznaki_insulta_i_okazanie_pervoy_pomoschi).

## ПРИЛОЖЕНИЕ «АБИТУРЕЙД VR»

*Решетова С.А., ученица 11 класса, МАОУ СОШ № 16, г. Томск*  
*Тюрин Н.О., студент группы 434, ОГБПОУ ТТИТ, г. Томск*  
*тел. 8(923)406-25-80*

E-mail: lisantov@yandex.ru;

*Железняк И.В., ученик 9 класса, МАОУ Перспектива, г. Томск*  
*Байдали М.С., ученик 9 класса, МАОУ Перспектива, г. Томск*  
*Святный М.А., ученик 9 класса, МАОУ Гимназия № 56, г. Томск*  
*Руководитель: Д.В. Михайлов, педагог ДО ДТ «Кванториум»*  
*634034, г. Томск, пр. Ленина, 26*  
E-mail: denis.mihaylov.9898@mail.ru

Одним из важнейших этапов жизни является обучение. Образование бывает разным, основным общим, средним общим средним профессиональным, высшим, и у каждого оно есть. Симулятор абитуриента в виртуальной реальности поможет школьникам, которые только входят во взрослую жизнь, в поступлении в желаемые учебные заведения.

Мы решили разработать приложение с использованием технологии виртуальной реальности, которое бы симулировало процесс поступления в вузы и ссузы.

Мы изучили информацию о нужных для поступления документах, в какие кабинеты их нужно приносить, а также в каких корпусах они находятся. На основе полученных знаний мы сформулировали порядок действий, которые должен выполнить будущий студент, чтобы поступить в учебное заведение.

Наша команда планирует реализовать Beta версию симулятора для поступления в ВУЗы и ССУЗы. В начале мы окажемся в комнате абитуриента, за рабочим столом. На мониторе компьютера игрок видит начальную заставку, где ему предстоит выбрать класс, который он закончил. После выбора класса, нужно выбрать средние баллы по всем предметам аттестата. Проставив все оценки, игрок выбирает желаемое образование и попадает в выбранное заведение по его образованию. Его встречает виртуальный помощник, который будет сопровождать игрока до конца поступления.

Несмотря на то, что проект находится на этапе разработки, мы смогли провести опрос среди 175-и учеников 9-х классов и 45-и учеников 11-х классов.

Из результата опроса мы выяснили, что большинство опрошенных хотели бы опробовать данный симулятор, чтобы заранее понимать, что их ждет после выпуска, а также взглянуть на корпуса внутри, а не только снаружи.

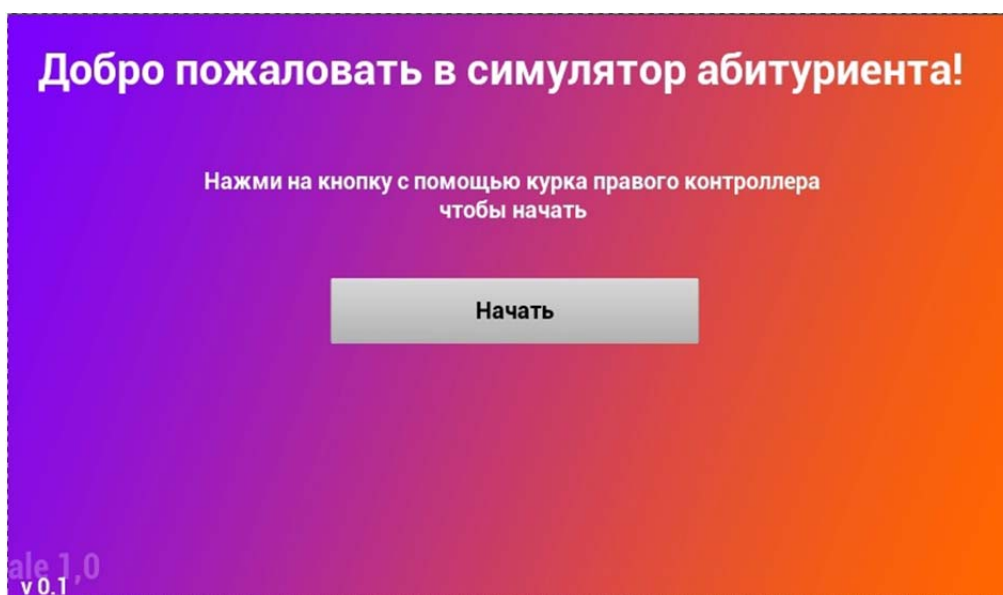


Рис. 1. Скриншот начальной заставки симулятора





Рис. 2. Скриншот выбора полученного образования



Рис. 3. Скриншот выбора оценок из аттестата



Рис. 4. Скриншот выбора желаемого образования

Наш проект был сделан на игровом движке «Unreal Engine» [2] на версии на версии 4.27 с помощью встроенных плагинов OpenXR. Для создания моделей мы использовали программу для 3D моделирования Blender 3.6.4 LTS [1], а также графический редактор Adobe Photoshop 25.0 для создания изображений для UI внутри нашего приложения.

Мы изучили несколько статей в которых рассказывалось, чего же боятся абитуриенты подающие документы в ссуз / вуз. Часто упоминались такие проблемы как:

- Боязнь не поступить в вуз.
- Страх что что-то пойдёт не так при поступлении.
- Страх сделать неправильный выбор.

В нашем приложении мы хотим решить некоторые из данных проблем. Чтобы абитуриенты перед подачей документов в техникум узнали всю необходимую информацию через наше приложение, задали все интересующие их вопросы, чтобы при походе в техникум они заранее понимали, что от них нужно и чувствовали себя уверенными.

### **Список литературы**

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М., 2020 г. – 400 с.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook 2021 г. – 264 с.

## УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА И ВЫДАЧИ ПРЕДМЕТОВ

*Ронжин М.И.<sup>1</sup>, Кульков А.Т.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> МБОУ Академический лицей им. Г.А. Псахье, 10 класс, г. Томск

E-mail: demon96ice@list.ru;

<sup>2</sup> МБОУ лицей при ТПУ г. Томска, 10 класс, г. Томск

E-mail: kulkovs@outlook.com;

*Бывшенко А.В., педагог ДО АНО ДО ДТ «Кванториум»,*

E-mail: alyona.byvshenko2002@gmail.com

Суть работы заключается в создании макета устройства, способного упорядоченно выдавать рабочие детали и обеспечить качественный и количественный контроль выдачи с отражением операций в ресурсной базе на основе «Excel» [1]. Внедрение устройства способно принести значительный экономический эффект за счёт значительного снижения необоснованных потерь компонентов. По сути, это начало внедрения технологии «Бережливое производство» [2].

Актуальность нашего проекта обусловлена отсутствием системы автоматизированного учёта и хранения компонентов на производстве, что затрудняет их поиск и выдачу исполнителям. В том числе отсутствует контроль их выдачи, что приводит к необоснованным потерям, а также отсутствует общая ресурсная база компонентов, что усложняет ведение учёта экономической составляющей при выполнении проектов. Для решения указанных проблем разрабатывается устройство, обеспечивающее снижение потерь расходных деталей при реализации работ, и как итог, снижение их себестоимости.

Основной целью является: создать прототип устройства, который сможет упорядоченно выдавать детали, обеспечивая качественный и количественный контроль выдачи с внесением информации об имеющихся и выданных деталях в ресурсную базу.

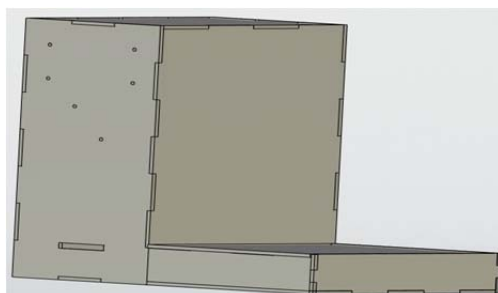
В результате работы над проектом были решены следующие задачи:

- проведен обзор аналогов и разработана структурная схема;
- определен внешний вид устройства;
- сделана 3D-модель устройства;
- разработана структурная схема устройства;
- разработана программа устройства;
- собран действующий макет устройства.

В современном производстве используется значительное число различных компонентов и деталей, которые необходимы при создании различных проектов, таким образом наше устройство может быть применено во многих отраслях производства.

Внешний вид разрабатываемого устройства представляет собой систему хранения с ящиками различных размеров. Посередине находится дисплей и сканер RFID-карт [3]. Пользователи могут отсканировать свою карту и на дисплее выведутся доступные ему предметы. Пользователь может выбрать тип предметов и его количество, после этого система сама откроет нужные ему ящики. Таким образом, проведение операции является элементом СКУД [4] (системы контроля и управления доступом).

На рис. 1 представлена 3D-модель устройства.



*Рис. 1. 3D-модель устройства*

Структурная схема устройства стала основой инженерного решения проекта. Главным органом управления является микроконтроллер, он отдает команды исполнительному органу, которым является система открытия ящиков, собирает информацию о количестве взятых и имеющихся предметов (инструментов) в ящиках с помощью системы количественного контроля. Также благодаря сканеру RFID устройство идентифицирует пользователя и передает информацию в базу данных, после этого система сама откроет нужные ему ящики. Структурная схема изображена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема устройства

Когда пользователь выбрал доступную ему деталь необходимо выбрать определенное их количество. Далее программа найдёт нужный предмет и откроет замок ящика, где он лежит. Затем пользователь берет нужное количество предметов и закрывает ящик. Если пользователь взял большее количество программа с помощью тензодатчика определит количество взятых единиц и запишет на счёт пользователя. Администратор имеет возможность выставлять для пользователей лимит предметов, а также следить за их взятым количеством. Когда в устройстве заканчивается необходимый ассортимент, программа оповестит администратора об этом. Затем администратору нужно положить новые предметы в устройство

Технико-экономическое обоснование по методике, используемой предприятием – заказчиком, не проводилось. Вместе с тем, снижение временных затрат на операции, снижение ресурсных затрат и улучшение условий труда должны принести ощутимый экономический эффект. Таким образом, проведение технико-экономического обоснования становится текущим императивом проекта, требующего оперативного выполнения. Очевидно, что оптимизация обеспечивающих процессов сопровождается увеличением полезной вспомогательной площади промышленных площадок (свободного места), уменьшение персонала, задействованного на работе с инструментом (снижение возможностей травматизма).

### Список литературы

1. Microsoft Excel. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Excel](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel) (дата обращения: 15.10.23 г.).
2. Бережливое производство. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое\\_производство](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое_производство) (дата обращения: 15.10.23 г.).
3. RFID. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID> (дата обращения: 15.10.23 г.).
4. СКУД. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_контроля\\_и\\_управления\\_доступом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_контроля_и_управления_доступом) (дата обращения: 15.10.23 г.).

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВСТРАИВАНИЯ ЗАШИФРОВАННОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИЗОБРАЖЕНИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ МЕТОДОВ ЗАМЕНЫ ПИКСЕЛЕЙ И ШИФРА ЦЕЗАРЯ

*Сагайдашный Д.К.<sup>1</sup>, Перекальский И.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Косулинская МАОУ СОШ № 8, студент*

<sup>2</sup>*Косулинская МАОУ СОШ № 8, учитель физики*

E-mail: perekalskiy\_igor@mail.ru

## **Аннотация**

Обеспечение конфиденциальности данных и защита от несанкционированного доступа стали ключевыми проблемами в современном мире. Злоумышленники активно ищут способы взлома систем и доступа к чувствительной информации. Поскольку коммуникации в сети чрезвычайно уязвимы для атак, важно иметь механизмы, которые обеспечивают шифрование данных.

В статье рассматривается, подход встраивание информации в изображение. Подход может быть применим для защиты авторских прав и маркировки конструкторской документации, для внедрения информации о владельце и авторстве в изображение. В комбинации с криптографией, это обеспечивает высокий уровень конфиденциальности. В нашей статье представлен исходный код и архитектура решения программы шифрования в комбинации с методом шифрования текста. Приведены результаты работы программы, наличие ошибок при расшифровке. Влияние размера файла на ошибки при записи зашифрованных данных.

## **Введение**

Актуальность исследования, темы шифрования сообщений в изображениях связано с ростом сетевых коммуникаций и передачей данных в цифровом формате. По мере того, как количество информации, передаваемой через интернет, увеличивается, также растет и риск утечки конфиденциальных данных [1].

Поэтому разработка эффективных методов шифрования, включая шифрование сообщений в изображениях, имеет важное практическое значение для защиты частной информации и обеспечения безопасности в онлайн-среде [2].

Основной целью настоящего исследования является разработка и анализ методов шифрования сообщений в изображениях с целью обеспечения конфиденциальности данных в сети. В ходе исследования создано программное обеспечение, которое позволит встраивать текстовые сообщения в изображения таким образом, чтобы только авторизованные получатели могли извлекать и читать эти сообщения.

Существует несколько методов шифрования текста в изображении, которые позволяют скрыть информацию в изображении так, чтобы она оставалась невидимой для наблюдателей. Ниже перечислены некоторые из них:

- Метод LSB (Least Significant Bit): Этот метод заключается в замене наименее значимых битов цветовых компонент пикселей изображения битами текста. Таким образом текст скрыт в изображении, и человеческий глаз обычно не замечает изменений. Однако, при сильном сжатии изображения или изменении цветовой палитры скрытая информация может быть повреждена и имеет практическую реализацию, также подробно рассматривается такими авторами как [1, 3–5]

Приведены методики и представлена архитектура решений.

- Спектральное шифрование: Этот метод использует преобразование Фурье для представления изображения в частотной области. Текст затем может быть внедрен в частотные компоненты изображения. Этот метод более устойчив к сжатию и изменениям изображения. Рассматривается авторами работ [6, 7]

Даны практические рекомендации по реализации метода и исследованы возможности и ограничения.

- Методы замены пикселей: В этом случае, определенные пиксели изображения могут быть заменены пикселями, представляющими символы текста. Этот метод менее надежен, так как может привести к заметным артефактам на изображении. Рассмотрен авторами [8].

Является наиболее простым в реализации и имеет большой потенциал с точки зрения шифрования.

- Методы стеганографии: стеганография, наука о шифровании какой-либо информации. Она может быть использована для внедрения текста в изображение так, чтобы это было невидимо. Стеганографические инструменты обычно предоставляют более продвинутые методы для внедрения информации [9]. Метод имеет множество различных реализаций. Однако нас заинтересовал архитектурный подход.

Алгоритм кодирования информации на основе двух методов с целью повышения безопасности информации. На первом шаге информация кодируется с использованием алгоритма разностного кодирования, затем закодированная информация встраивается в изображение с помощью метода LSB с новой модификацией его функций. Этот подход будет использован в нашем исследовании в дальнейшем

- Использование QR-кодов: Текст может быть закодирован в QR-код и затем размещен в изображении. QR-коды могут содержать больше информации, чем простое скрытие текста в изображении [10].

- Методы водяных знаков: Этот метод внедряет информацию в изображение так, чтобы она была видима, но слабо заметна. Водяные знаки обычно используются для авторского права и аутентификации, но их также можно использовать для скрытия текста [11].

- Скрытие в шуме: Информация может быть скрыта в шумовых компонентах изображения, которые могут быть восстановлены при необходимости.

Все рассмотренные методы широко освещаются. Проанализировав все методы, мы пришли к выводу, то наиболее подходящий для нашего исследования комбинации методов сокрытия информации методы замены пикселей, дополнительное шифрование методами шифрования текстовой информации, нами выбран шифр Цезаря: в пикселях изображения и дополнительное шифрование.

### **Преимущества**

- Простота реализации: является относительно простым и может быть легко реализован, особенно для тех, кто не имеет глубоких навыков в стеганографии или криптографии.

- Устойчивость к сжатию и изменениям изображения: поскольку изменяются конкретные пиксели, метод замены пикселей может быть более устойчив к сжатию изображения и изменениям цветовой палитры, по сравнению с методом LSB.

- Дополнительное шифрование текстовой информации с использованием шифра Цезаря, добавляет слой дополнительной безопасности к нашей системе шифрования, усложняя доступ к скрытой информации без знания ключа.

### **Ограничения**

- Заметные артефакты: Метод замены пикселей может привести к заметным артефактам на изображении, особенно если скрываемый текст слишком большой или если заменяются яркие пиксели.

- Ограниченная емкость для скрытой информации: Размер изображения ограничивает количество текстовой информации, которую можно скрыть методом замены пикселей. Это может быть ограничением для некоторых приложений.

- Относительная ненадежность метода Цезаря: Шифр Цезаря, довольно простой и слабый метод шифрования, который может быть легко взломан, если злоумышленник знает, что вы используете этот метод. Для более надежной защиты информации, авторы рекомендуют использовать более сильные методы шифрования [12].

## Методология

В данной части исследования описывается методология, которая была выбрана для разработки программы шифрования сообщений в изображениях. Эта методология включает в себя следующие ключевые аспекты:

1. Исследование существующих методов. Проведен анализ существующих методов и алгоритмов шифрования в изображениях и стеганографии. Это позволило выбрать наиболее приемлемые практики и методы для реализации программы.
2. Определение требований. Определены конкретные требования к разрабатываемой программе, включая уровень безопасности, производительность, исключительность данных и другие аспекты.
3. Проектирование архитектуры. На основе анализа и требований разработана архитектура программы, определена структура, функциональность и взаимодействие компонентов.

## Разработка программы шифрования

Архитектура программы шифрования сообщений в изображениях представляет собой модульную систему, состоящую из следующих ключевых компонентов:

1. Интерфейс пользователя: Этот компонент обеспечивает взаимодействие с пользователем. Мы разработали текстовый и графический интерфейс, чтобы пользователи могли легко вводить текстовые сообщения и выбирать изображения для шифрования.
2. Модуль шифрования: Модуль, ответственный за шифрование текстовых сообщений перед их встраиванием в изображение. Реализован алгоритм шифрования (шифр Цезаря).
3. Модуль стеганографии: Этот компонент занимается встраиванием зашифрованных сообщений в изображение. Использован метод на основе замены пикселей для внедрения данных так, чтобы изменения в изображении были минимальными и не заметными для глаза.
4. Модуль извлечения и расшифрования: Этот модуль отвечает за извлечение сообщений из зашифрованных изображений и их последующее расшифрование. Здесь также используются алгоритмы расшифрования, совместимые с алгоритмами шифрования.

## Процесс шифрования и расшифровки сообщений

1. Запустить файл custom.pyw
2. В вкладке Cesar в верхней строке пишется слово. Нажимается «encrypt». Зашифрованное слово появляется в нижней строчке. Чтобы расшифровать слово: зашифрованное слово пишется в верхней строке и нажимается «decipher».
3. Во вкладке «encrypt the picture» в окне encrypt нужно открыть картинку или фото в формате png.
4. Под фото появится строка для шифрования слова или предложения в фото.
5. После появятся ключи, которые нужно сохранить, чтобы расшифровать фото.
6. Высветится сообщение, что зашифрованное фото сохранилось под названием «newimage.png».

Чтобы расшифровать, нужно перейти в окно «decrypt» вести ключи(в точно таком же виде, в каком они отправились, со скобками и запятыми, с пробелами, точь в точь), после чего нажать на кнопку «decrypt image», где выбрать зашифрованное сообщение. также ключи хранятся в [keys.txthttps://github.com/QweDanil/Cryptography](https://github.com/QweDanil/Cryptography)

## Эксперименты и результаты

Для оценки эффективности разработанной программы шифрования сообщений в изображениях проведен ряд экспериментов, используя следующие методики тестирования:

- Выбор тестовых изображений: Выбран набор разнообразных тестовых изображений различных размеров и форматов, включая фотографии, рисунки и другие типы изображений.



- Генерация тестовых сообщений. Для каждого изображения, были сгенерированы тестовые текстовые сообщения разной длины и содержания. Эти сообщения использовались для шифрования и встраивания в изображения.

- Шифрование и встраивание. Применение разработанной программы для шифрования тестовых сообщений и их встраивания в соответствующие изображения.

- Извлечение и расшифрование. После встраивания сообщений извлечение их из изображений и проведение расшифровки.

Авторами не проводились тесты скорости и производительности, однако это будет проведено в дальнейших исследованиях.

Результаты тестов можно увидеть в таблице.

Таблица 1

*Результаты тестов работы программы*

Эксперимент	Тестовое изображение	Длина сообщения (байт)	Встроенное сообщение	Извлеченное сообщение	Результат
1	Изображение 1	100	Секретное сообщение 1	Извлеченное сообщение 1	Успех
2	Изображение 2	250	Секретное сообщение 2	Извлеченное сообщение 2	Успех
3	Изображение 3	500	Секретное сообщение 3	Извлеченное сообщение 3	Успех
4	Изображение 4	75	Секретное сообщение 4	Извлеченное сообщение 4	Успех
5	Изображение 5	300	Секретное сообщение 5	Извлеченное сообщение 5	Успех

В ходе дальнейших исследований планируется проверить более надежные методы шифрования текста, такие как RSA, AES. Провести исследование производительности и скорости работы программы.

### **Заключение**

В данном исследовании был рассмотрен подход встраивания информации в изображение, который представляет собой мощное средство для защиты авторских прав и маркировки конструкторской документации. Внедрение информации о владельце и авторстве в изображение, совмещенное с использованием криптографии, создает высокий уровень конфиденциальности и безопасности данных. Программа шифрования, представленная в статье, предоставляет инструмент для этой цели.

Результаты работы программы демонстрируют успешное встраивание и извлечение данных, вывалены закономерности влияния размера изображения на качество шифрования. Кроме того, в статье исследовано влияние размера файла на вероятность ошибок при записи зашифрованных данных, что является важным аспектом в процессе применения данной технологии.

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод, что предложенный метод шифрования сообщений в изображениях представляет собой эффективное и надежное средство для обеспечения конфиденциальности данных и защиты от несанкционированного доступа. Этот подход имеет потенциал быть использованным в различных областях, от защиты авторских прав до обеспечения безопасности данных в сети.

### **Список литературы**

1. Меркулов П.А., Тарусов В.А., Тарасенко С.С. Программа По Внедрению Текстовых Стеговложений В Неподвижные Изображения Формата Png На Основе Изменения Rgb Параметров «Мираж».

2. Покормяко В.В. Веб – Стеганография Изображений. Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2022.
3. Кислякова К.В., Рабкина С.А., Ляхницкая О.В. Применение Метода Lsb Для Шифрования Текстовой Информации В Растровом Изображении. Донской государственный технический университет, 2020.
4. Малышев И.С., Маляров А.И., Коркишко И.В. Алгоритм стегоанализа графических данных, основанный на применении стеганографии по методу LSB // Информационная Безопасность – Актуальная Проблема Современности. Совершенствование Образовательных Технологий Подготовки Специалистов В Области Информационной Безопасности. 2015. № 1 (6). Р. 179–184.
5. Жура В.С., Колодкин С.Н. Программа для внедрения и извлечения скрытой информации в BMP-файлы методом LSB-Replacement.
6. Пролубников А.В., Файзуллин Р.Т. Шифрование Видеоизображений С Помощью Шифра Двойной Перестановки // Известия Челябинского Научного Центра Уро Ран. 2004. № 1. Р. 17–21.
7. Горюшко И.А., Строганов Д.В. Защита Информационных Систем С Использованием Методов Случайного Фрактального Кодирования // Вестник Московского Автомобильно-Дорожного Института (государственного Технического Университета). 2003. № 1. Р. 56–60.
8. Кривошеев И.А., Линник М.А., Кожевникова Т.В. Способ встраивания информации в цветное изображение.
9. Абдулваххаб Хабиб Ш.х. Скрытие Данных Методами Стеганографии. 2022.
10. Бужинская Н.В., Шушпанов М.С., Васева Е.С. Автоматизированная система защищенного хранения и передачи данных.
11. Жиданов К.А., Беззатеев С.В., Волошина Н.В. Программный модуль исследования методов встраивания цифрового водяного знака в растровое изображение методом взвешенного контейнера.
12. Geetha S. et al. A Literature Review on Image Encryption Techniques // IJISP. IGI Global, 2018. Vol. 12, № 3. Р. 42–83.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕГРАМ-БОТОВ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Самылов Н.А.<sup>1</sup>*

E-mail: qwekolya1@gmail.com;

*Перекальский И.Н.<sup>2</sup>*

E-mail: perekalskiy\_igor@mail.ru;

<sup>1</sup>*Косулинская МАОУ СОШ № 8, студент*

<sup>2</sup>*Косулинская МАОУ СОШ № 8, учитель физики*

## **Аннотация**

Информационные технологии и интернет-сервисы играют все более важную роль в современном производстве, особенно в контексте управления и мониторинга оборудования на заводах. В данной статье рассматривается потенциал использования Телеграм ботов в качестве интерфейса для управления и мониторинга оборудования. Телеграм-боты, приложения, интегрированные в мессенджер Telegram, которые предоставляют удобный и гибкий способ взаимодействия с оборудованием на заводах.

## **Целью статьи**

Является исследование и оценка потенциала использования Телеграм ботов в промышленной среде. В статье представлен архитектурный подход к разработке Телеграм бота, а также проведена оценка его эффективности с помощью пилотного проекта. Было проанализировано разнообразие типов интерфейсов, используемых на производственных предприятиях, и выделены преимущества Телеграм-ботов в контексте управления и мониторинга оборудования.

Статья также обращается к другим видам интерфейсов, таким как графический пользовательский интерфейс, текстовый интерфейс и интерфейсы виртуальной и дополненной реальности. Однако, авторы уделяют особое внимание Телеграм-ботам как инновационному средству взаимодействия между человеком и оборудованием в производственной среде. [1]

В заключении статьи подводится итог проведенному исследованию и оценке эффективности Телеграм ботов в качестве интерфейса пользователя для управления и мониторинга оборудования. Результаты пилотного проекта показывают потенциал Телеграм ботов как удобного и гибкого средства взаимодействия с оборудованием на производственных предприятиях. Пилотный проект был реализован и находится в опытной эксплуатации. Исходный код проекта можно найти: [https://github.com/Perekalskiyigor/ESPmonitoring\\_Uztm.git](https://github.com/Perekalskiyigor/ESPmonitoring_Uztm.git).

## **Результаты исследования**

Был успешно создан и настроен Телеграм бот, способный осуществлять запросы и извлекать данные из существующей базы данных MS SQL. Это обеспечило операторам доступ к актуальным данным и информации о состоянии оборудования. Благодаря интеграции бота с устройствами силовых реле, операторы могли в режиме реального времени управлять и контролировать электронное оборудование через бот. Это повысило гибкость и эффективность управления производством. Бот был способен генерировать разнообразные графические отчеты на основе данных из базы данных. Эти отчеты предоставляли визуальную информацию, упрощая анализ и принятие решений операторами. В рамках проекта был проведен сравнительный анализ производительности и надежности Телеграм бота по сравнению с традиционными методами управления и мониторинга оборудования. Результаты показали, что бот способен обеспечить сопоставимую производительность и высокую надежность.

Сбор обратной связи от сотрудников предприятия: Операторы предприятия оценили работу бота и его применимость в повседневных задачах. Большинство сотрудников отметили удобство взаимодействия с ботом и положительное воздействие на производственные процессы. *Имена и Фамилии изменены.*

*Результаты опроса по работе бота*

№	Дата обратной связи	ФИО сотрудника	Отзыв о боте	Оценка (от 1 до 5)
1	2023-09-05	Иванов Петр	Очень удобно управлять реле через бот	5
2	2023-09-10	Сидорова Анна	Графические отчеты помогли в анализе данных	4
3	2023-09-15	Козлов Михаил	Бот иногда медленно отвечает	3
4	2023-09-20	Павлова Ольга	Интерфейс бота интуитивно понятен	5
5	2023-09-25	Григорьев Алексей	Бот сэкономил нам время и ресурсы	4

В целом, пилотный проект показал, что использование Телеграм-бота для управления и мониторинга оборудования на предприятии может быть успешным. Бот обеспечивает удобный доступ к данным, возможность удаленного управления и анализ информации в реальном времени, улучшая эффективность и общую производительность предприятия. Полученная обратная связь подтвердила положительное восприятие бота сотрудниками и его применимость в различных задачах производства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функционала бота и его применение в других сферах промышленности.

### **Заключение**

Современное производство находится на стыке высоких технологий и автоматизации, и эффективное управление и мониторинг оборудования стали неотъемлемой частью успеха предприятий в современной глобальной экономической среде. В этом контексте, развитие информационных технологий и интернет-сервисов предоставляет уникальные возможности для оптимизации и повышения производительности производственных процессов.

Исследование, проведенное в рамках данной статьи, посвящено оценке потенциала использования Телеграм-ботов в качестве интерфейса пользователя для управления и мониторинга оборудования на заводах. Подход к разработке и интеграции таких ботов представляет собой инновацию, которая может революционизировать способы взаимодействия между человеком и производственным оборудованием.

Результаты пилотного проекта подтвердили, что Телеграм-боты могут быть успешно интегрированы в производственные процессы. Они позволяют операторам удобно управлять оборудованием, получать актуальную информацию и анализировать данные. Это ведет к повышению эффективности, сокращению времени реакции и увеличению гибкости в управлении производством.

Таким образом, использование Телеграм-ботов в производстве представляет собой перспективное решение, которое способно усилить конкурентоспособность предприятий. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут дополнительно расширить возможности и преимущества таких ботов, что делает эту технологию важной для будущего современной промышленности.

### **Список литературы:**

1. Булыгина А.В., Коноплева Д.Ф. «Мониторинг и диагностика состояния промышленного оборудования».
2. Жаворонкова А.М. «Автоматизированные системы диагностики и мониторинга промышленного оборудования».
3. Черных С.В. «Системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния промышленного оборудования».
4. Демакова А.А., Маслова И.Л. «Управление состоянием и надежность промышленного оборудования».

## ПРИЛОЖЕНИЕ «VR PUZZLE»

*Тюменцев Е.Н, Дырин А.И, Ли Л.О., Ли Ю.О.*

*Черкасов Р.С., Соловьев И.Д., Конев И.С.*

*МАОУ СОШ № 49, г. Томск*

*МБОУ РКГ № 2 г. Томска*

*E-mail: ztumencev23@gmail.com;*

*Руководитель: Михайлов Денис Вадимович, педагог ДО*

*ДТ «Кванториум», г. Томск*

На протяжении всей жизни важно поддерживать свой организм в тонусе. Это относится не только к физической форме, но и к умственной деятельности. Головоломки хорошо стимулируют процессы мышления, поэтому могут выступать в качестве тренажера для головного мозга.

Особенно важную роль в тренировке мозга играет улучшение памяти. С годами память человека очень сильно ослабевает и удерживать в голове большой объем информации становится все сложнее. Чтобы избежать ухудшения памяти, необходимо постоянно ее тренировать, а решение головоломок является отличным упражнением. Психологи доказали, что головоломки действительно благотворно влияют на наш мозг. Решение головоломок оттачивают мышление, улучшают память и повышают общий уровень IQ. С учетом выше сказанного в детском технопарке «Кванториум» идет работа по созданию приложения виртуальной реальности, направленное на развитие пространственного и образного мышления.

Когда человек становимся старше, тело и мозг начинают постепенно терять свою форму. Это эффект старения, хотя иногда спад может быть более резким и, как правило, связан с нейродегенеративными состояниями. Существует мнение, что люди могут предотвратить возрастную умственную деградацию, если будут предпринимать определенные действия, одним из которых наиболее важным считается тренировка мозга путем решения головоломок и подобных развивающих игр.



*Рис. 1. Сцена игрового уровня*

После учета некоторых модифицирующих факторов исследователи, что решения головоломок не влияют на уровень умственного снижения, связанного с возрастом. Однако регулярные подобные действия, по-видимому, улучшали когнитивные навыки человека на протяжении всей его жизни. Кроме того, у людей, которые любили интеллектуальные игры, такие как разгадывание кроссвордов, решение головоломок или sudoku, наблюдались лучшие умственные способности в пожилом возрасте. По словам ученых, результаты исследования показывают, что, хотя кроссворды и не способны полностью остановить возрастное снижение когнитивных способностей, решение головоломок может поддерживать мозг в лучшей форме на более раннем этапе жизни, так что умственный спад будет не таким заметным. Наша разрабатывает приложение (рис. 1), которое будет помогать детям развивать пространственное мышление, а взрослым поможет тренировать мозг. Важной целью приложения является поиск недостающих фрагментов для пазла, которую необходимо собрать. Задача пользователя удерживать в голове информацию о цельной картине и найти способ, как можно быстрее собрать головоломку, исходя из тех фрагментов, которые у него есть. Такая практика помогает улучшить визуальное и пространственное восприятие.

Умение эффективно ориентироваться в пространстве и запоминать детали особенно важно для архитекторов, инженеров, химиков, художников и хирургов. Дополнительные возможности для саморазвития.

#### **Список литературы**

4. Макаров И.М., Рахманкулов В.З., Ахрем А.А. / Виртуальное моделирование и интеллектуальное управление сложными компьютерно-интегрированными системами С. 11–24.
5. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М, 2020 г. – 400 с.
6. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.



## ПРИМЕНЕНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКСКУРСИЯХ НА ПРИМЕРЕ МУЗЕЯ ТОМСКОГО ПРИБОРНОГО ЗАВОДА

Чумаров А.А.,  
Томский политехнический техникум,  
Бывшенко А.В., педагог ДО,  
АНО ДО ДТ «Кванториум» г. Томск

В Кванториум обратился музей Томского приборного завода с проблемой, что жизнь музея сложно поддерживать и поэтому они хотят, чтобы у музея появился собственный 3D-тур.

Цель данного проекта создать 3D-тур по музею Томского Приборного Завода до мая 2024 года.

Задачи проекта:

- сбор информации о музее;
- загрузка панорам музея на платформу PanoQuiz;
- наполнение 3D-тура информационными точками;
- сдача проекта заказчику.

Для сбора информации были проведены экскурсии по музею, изучены материалы музея и сделаны панорамы музея, которые можно увидеть на рис. 1 и 2. Сделанные фотографии музея в панораме были подгружены на платформу PanoQuiz.



*Рис. 1. Пример панорамного снимка*



*Рис. 2. Пример панорамного снимка*



В 3D-туре размещены информационные точки, которые представляет собой всплывающий слайд с информацией. Как пример фраза Гагарина на 3 Фотографии.

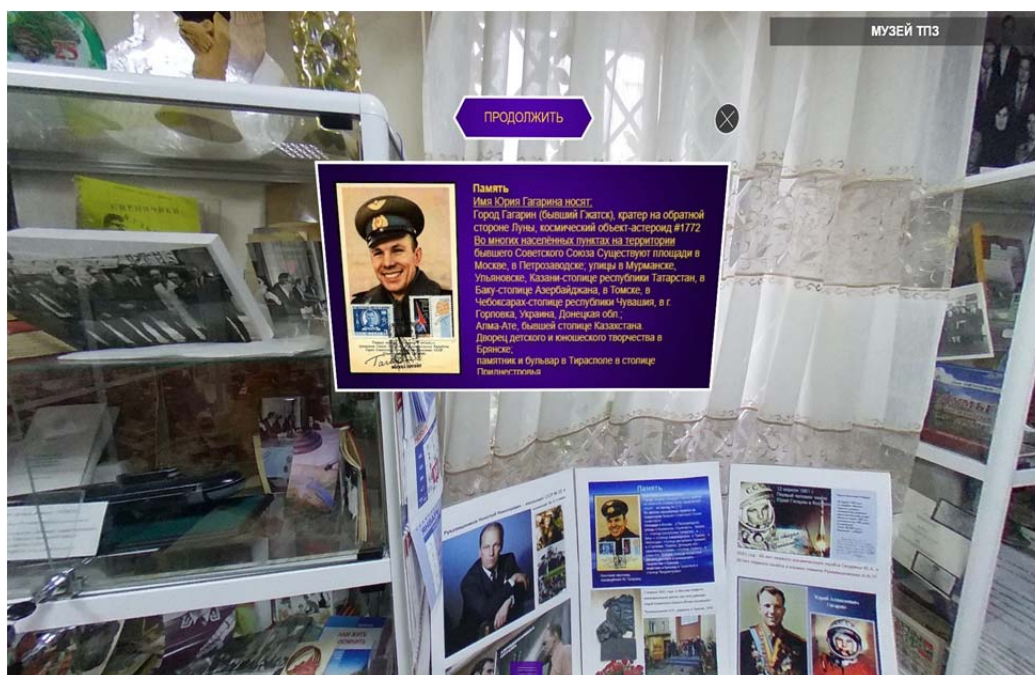


Рис. 3. Пример информационной точки

Так же музей предоставил для изучения книги с информацией о музее, на которые в туре есть QR коды, ведущие на Гугл диск, где лежат данные книги. Как пример 4 картинка, которая ведёт на первую книгу музея.

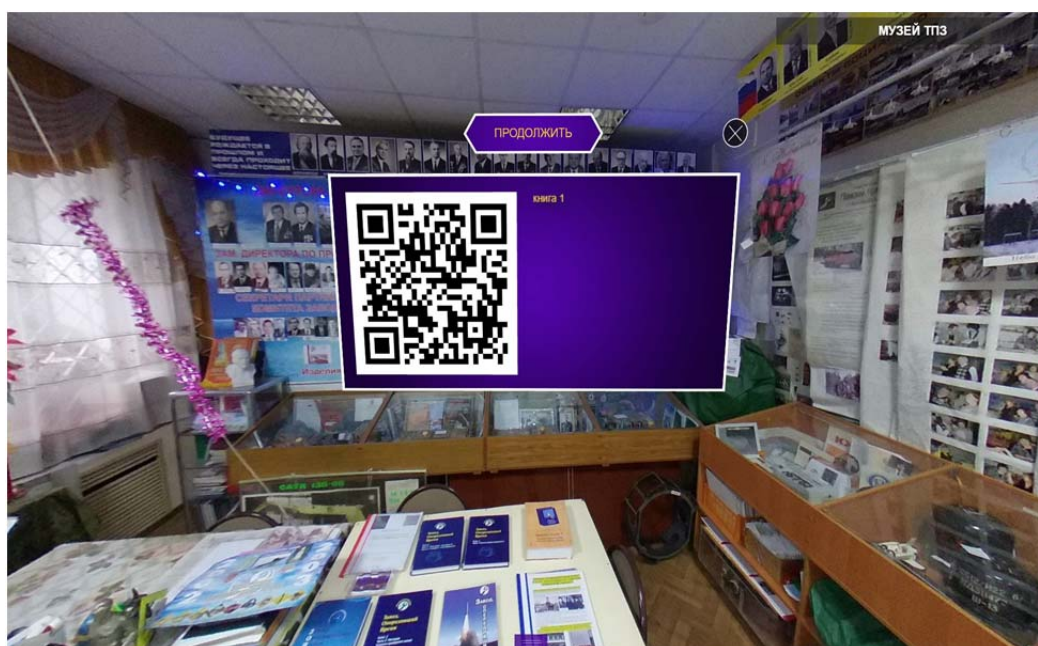


Рис. 4. QR-код на книгу музея

В результате работы была изучена информация музея и было начато наполнение 3D-тура информационными точками.

## «МОДЕЛИЗМ»

*Шадрин Д.А.*

*ученик класса 11 А*

*МАОУ Моряковская СОШ, Томская область*

*Руководитель: Чердынцева С.А.*

### **Аннотация**

В предлагаемой статье идёт ознакомление с моделизмом, как видом творчества и воспроизведение (конструирование) различных моделей: танков, самолетов, кораблей, локомотивов, автомобилей и макетов архитектурных объектов и ландшафтов в уменьшенном размере и точном соответствии с оригиналом. Стендовый моделизм – хобби, которое подойдет всем без исключения.

*Ключевые слова:* моделизм, диорама, модель.

Моделизм изначально связан с техникой и средствами передвижения. История моделизма берет свое начало еще со времен Древнего Египта. Старейшие находки представляют собой копии кораблей того времени, сделанные из глины и дерева. Следующим шагом в развитии моделизма стали модели, по которым строились настоящие корабли. Тогда впервые появился термин масштаб. Затем, стали появляться новые машины и их модели: автомобили, самолеты, танки. Первую сборную модель-копию придумал англичанин Джеймс Стивен в масштабе 1 :72. Этот размер и по сей день считается эталоном для многих производителей сборных моделей.

Широкое распространение стендовое моделирование получило в 70-е годы XX века. Первые в стране смотры-конкурсы микромоделей военной и транспортной техники устраивали под эгидой журнала «Техника молодежи». На них выставлялись изделия искусных моделлистов, мастеров из картона, дерева, пластика и других подручных материалов великолепные мини-копии самолетов, танков, автомобилей и кораблей всех времен и народов. Впрочем, многие их коллеги уже тогда предпочитали появившиеся в продаже пластмассовые сборные модели. Однако модели были лишены множества мелких подробностей и деталей. Мелких, конечно, только с точки зрения изготовителя, но очень дорогих сердцу энтузиастов-моделлистов. Поначалу стремились как можно точнее раскрасить модели в соответствии с оригиналами. Наносился характерный камуфляж, национальные опознавательные знаки, символы отдельных соединений, подразделений, вплоть до личных обозначений командиров экипажей и летчиков. Имитировали разными способами на моделях копоть от выхлопных газов двигателей, следы от попаданий снарядов, осколков и пуль.



*Рис. 1. Выставка композиций. Фотография с интернета*

Следующий этап в творчестве самодеятельных моделлистов ознаменовался появлением на смотрах-конкурсах композиций (рис. 1). Моделлисты упорно искали изображение оригиналов техники во всех доступных тогда источниках: книгах, альбомах, музейных экспозициях, даже в черно-белой фото- и кинохронике военных лет. Все это приближало к

полному правдоподобию, что, собственно, и требовалось от военно-исторических миниатюр. Конечно, при таком методе ошибки были неизбежны, тем не менее, создатели подобных композиций достигали совершенства. Общим стимулом был горячий интерес к прошлому и настоящему техники. Особенно боевой, что легко объяснимо, ведь в ней издавна и в первую очередь, воплощались все лучшие и эффективные достижения ученых, инженеров и изобретателей.

Моделизм – воспроизведение (конструирование) различных моделей: танков, самолетов, кораблей, локомотивов, автомобилей и макетов архитектурных объектов и ландшафтов в уменьшенном размере и точном соответствии с оригиналом.

Моделизм подразделяется на две основные ветви:

- Технический моделизм (создание действующих моделей).
- Стендовый моделизм (конструирование статичных прототипов).

Прототипы стендового моделирования в точности отображают реально существующую в истории модель, вплоть до элементов: деталей, оттенков краски, надписей, повреждений, загрязнений. Моделисты-профессионалы самостоятельно ищут, разрабатывают и реализуют конструкции по фотографиям и документам, используя для того самые разные материалы: дерево, картон, металл, пластик и т. д. Чтобы воспроизвести в точном соответствии необходимый объект, мастер должен обладать навыками проектирования, делать точные измерения, работать в графических редакторах и иметь для того оборудование, а значит и мастерскую. Для новичка подобная реализация хобби не подойдет, к тому же будет очень затратным. Тем, кто хочет моделировать «здесь и сейчас», рынок производителей предлагает готовые наборы. В продаже представлено множество моделей вертолетов, машин, пароходов, танков. Часто готовые к сборке наборы уже снабжены необходимыми материалами.

Поскольку стендовый – это подвид моделизма, видов он не имеет. Однако, условное обозначение все же возможно.

Бумажное моделирование – создание моделей из бумаги (картона). Профессионалы изготавливают их самостоятельно: с учетом размеров и масштаба чертят проект, переносят его на бумагу, вырезают, склеивают и красят. А в продаже наборы с выкройками, которые остается вырезать и склеить. Иногда даже красить не приходится цвет пропечатан. В свою очередь бумажное моделирование делится на: 2D и 3D (объемные модели).

Моделирование из дерева аналогично по своему определению бумажному, за исключением материалов. Кстати, готовые деревянные сборные модели довольно привлекательны по цене, потому начинающим лучше попробовать учиться на них.

Моделирование с помощью металла, создание сложных объектов возможно только в промышленных условиях. Хотя отдельные кузнецы, настоящие мастера своего дела, воспроизводят реалистичные модели. В продаже готовых наборов, как правило, нет. Представлены отдельные металлические листы и трубки, из которых моделист самостоятельно вырезает и стыкует объекты.

Моделирование из пластика сборные пластиковые копии, которые необходимо собрать вручную: склеить, зашкурить, покрасить. Производственные масштабы предлагают потребителю не только наборы для сборки, но и сопутствующих инструментов и материалов. Моделирование пластиковых макетов наряду с деревянными, в готовых наборах, оптимально для любителей и по цене, и по качеству, и по скорости сборки.

Диорама (греч. διά (dia) – «через», «сквозь», и ὄραμα (horama) – «вид», «зрелище») в стендовом моделизме – это реально воспроизведенная сцена/ситуация с использованием моделей техники и макетов зданий и сооружений. Диорама часто бывают представлены в масштабе 1 :35 (иногда встречаются 1 :16, 1 :32, 1 :72 и т. д.).

Мир всерьез, давно и надолго увлекся масштабным моделированием. Целые сообщества создаются с целью объединения единомышленников и последующей презентации, а то и продажи макетов. Если в строительной сфере диорама зачаток работы над проектом, определяющий расположение и габариты будущих жилых комплексов, ландшафтно-



го дизайна и их соотношение друг к другу, то моделирование в качестве хобби, нечто большее, чем просто презентация партнерам.

Моделистов обычно связывает общий канал – безудержный интерес к истории и желание воспроизвести ее отдельные фрагменты. Потому, говоря о моделировании, так часто упоминают коллекционеров – люди с деньгами готовы хорошо платить за воспроизведенную «битву с Наполеоном». Спрос рождает предложение, и сегодня результатом производства целых корпораций представлен огромный выбор масштабных сборных моделей. Лидерами считаются Япония, Италия, Чехия. Среди российских фирм – «Звезда».



Рис. 2. Собственная работа в стиле пост-апокалипсис под названием «Патриот пустоши»

Основные материалы в стендовых макетах – это дерево, картон, пластик, металл. Модели выполняются в основном в масштабах 1 :43 и 1 :36, однако они выполняются и от крупного 1 :6 до микроскопического 1 :1000, где модель грузовика может быть размером меньше спичечной головки, и при этом там порой изображают людей. Перед тем, как начать работу, нужно определиться с темой вашей работы. Тема может быть разной, главное, к чему лежит душа. Это может быть космос с бесконечным простором звёзд, планетами, на которых может быть жизнь и космическими кораблями, которые плывут по космосу, чтобы его исследовать. Или пост-апокалипсис, где произошла катастрофа, вокруг только пустошь, и где только ты один (рис. 2). А может это будет сцена с фронта Великой отечественной войны или как ликвидаторы устраняют последствия после взрыва Чернобыльской АЭС.

У начинающего моделиста инструментарий не столь велик, но есть некоторые инструменты, без которых обойтись попросту невозможно:

- модельный клей, продается, как правило, в тубиках и в бутылочках с иглой для подачи клея, вкладывается и в наборы;
- кусачки, служат для отделения деталей;
- набор надфилей или пилка для ногтей, идеально подходит для зачистки заусенец на деталях, а также для обработки мест среза с литниковых рамок;
- обойный или канцелярский нож, им довольно часто приходится обрабатывать места срезов на деталях, а также применяется во множестве других операциях;
- тонкий пинцет, инструмент не первой необходимости, но иногда бывает очень полезен при монтаже мелких деталей.
- модельная химия, то, благодаря чему модель обретает внешний вид. К ним относятся краски, смывки, пигменты и т. д.

Создание стендовой модели напрямую влияет на наше знание истории. Невозможно создать достойную масштабную модель без знания прототипа, и исторического контекста, в котором он жил. Каждый раз делая новую модель человек погружается в новую историческую эпоху, начинает узнавать все новые тонкости и аспекты. История буквально оживает на глазах, под нашими руками.

Это занятие позволяет реализовать себя в бескорыстном творении. Позволяет найти маленькое любимое дело. Радовать себя, своих близких, друзей и родственников.

Невозможно делать модели, не общаясь с собратьями по интересам. Рано или поздно начинаешь искать контакты с подобными себе. Чтобы найти решение проблемы, посоветоваться по различным аспектам работ, да и просто поделиться радостью от создания нового шедевра. А потом появляются друзья. И эти друзья, зачастую, долго идут с тобой по жизни.

Масштабный стендовый моделизм заставляет человека интенсивно развиваться. Нужно учиться мыслить. Представлять. Воображать. Модель сначала создается в душе, голове, мыслях – и только затем выплескивается готовое изделие. И чтобы с каждым разом получалось всё лучше, нужно учиться.

Стендовый моделизм – хобби, которое подойдет всем без исключения, а все потому, что:

Готовые наборы по сборке макетов не дадут соскучиться работы в них хватает. Собрать мало, нужно еще довести модель до оригинала. Понадобится усердие и внимательность к деталям, потому что результат будет зависеть только от начинающего моделиста. При регулярной тренировке, внимательности к мелочам, последующие работы будут во многом превосходить первые модели. Подарить другу столь необычный подарок, значит оставить след в его квартире надолго.

Навыки ручного труда всегда формируют в мозге новые нейронные связи, заставляя мыслить человека масштабнее. Начинающие получают первый опыт, представление о конструкционных особенностях того или иного объекта, развивают техническую точность и глазомер. Получение нового всегда здорово. Люди, интересующиеся моделированием, развивают мелкую моторику, в следствие чего гораздо быстрее соображают, чем другие. Человек, который строит что-то своими руками, гораздо серьезнее подходит и к другим задачам, потому что убеждается, у него все получается.

Развивая навыки, в последующем специалисты начинают изготавливать макеты самостоятельно, из-за чего часто хобби перерастает в доходное дело. Люди меняют работу, уходят работать проектировщиками, дизайнерами или организуют бизнес. Даже в качестве дополнительного источника заработка хобби приносит ощутимые деньги. Стоит предложить пару уникальных сувениров, и их будет кому купить.

### **Список литературы**

1. <https://www.craftviser.ru/post/modeling>.
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC>.
3. <https://school-science.ru/10/23/45661>.
4. <http://globaltao.com/obshhie-svedeniya/stendovyyj-modelizm-chem-zhe-my-zanimaemsya.html>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ «ЗАТМЕНИЕ»

*Плашевский М.В. ГСЛ 7,  
Яковлева Е.А. МАОУ СОШ № 58 11  
Рыбалков Д.В. МАОУ СОШ Интеграция г. Томск  
Руководитель: Михайлов Д.В., педагог дополнительного образования  
Детского технопарка «Кванториум», г. Томск*

Основная значимость 3D головоломок, в особенности теневых – развитие восприятия 3D объектов и их отображения на плоскости. Основная ценность теневой головоломки, сопоставление объекта и его плоской тени, возможность изучать, как и сам объект с разных сторон, так и то, как при вращении меняется его тень. Приложение разрабатывается с помощью игрового движка «Unreal Engine» [2], а также графического редактора «Blender» [1] с использованием технологии виртуальной реальности, которое бы позволяет работать в пространстве с разных ракурсов.

Мы изучили аналоги, также ранее уже работали с подобной тематикой в проекте «Теневая реальность». Из аналогов, теневая головоломка «Shadowmatic» (рис. 1).

Команда реализовала демонстрационную версию приложения, в которой присутствуют основные механики и дальнейшие сюжетные задумки для развлекательной составляющей игры. Порядок действий следующий:

1. Выслушать информацию о требуемых действиях.
2. Найти и получить нужные детали для создания источника света.
3. Собрать детали воедино.
4. С помощью созданной звезды мы можем проходить головоломки с вращением объекта под направленным светом для получения нужного силуэта.



*Рис. 1. Теневая головоломка «Shadowmatic»*

Еще на момент разработки приложения был проведен опрос учеников организации Кванториум. Многим понравилось вращать аморфные объекты, находя в них заданные и свои личные теневые силуэты объекта. Исходя из этого, мы сделали вывод:

Головоломки во виртуальной реальности помогают лучше и разнообразнее изучить объект и его тень. Во время прохождения игры пользователи могут открыть для себя что-то новое о 3D пространстве.

### Список литературы

1. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / Серова М., 2020 г. – 400 с.
2. John P Doran, William Sherif, Stephen Whittle / Unreal Engine 4.x Scripting with C++ Cookbook (2021) – 264 с.

Научное издание

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Сборник статей  
XVI 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