

# СПМ 2019

**XII международная  
научно-практическая  
конференция**



**WORLD STANDARD  
COMPRESSORS**



**ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**[www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)**

**УДК 621.9**

**Современные проблемы машиностроения:** труды ХII Международной научнотехнической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019 – 375 с.

Сборник содержит доклады ХII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», проходившей в г. Томске 28 октября - 1 ноября 2019г. Конференция проведена по секциям: надежность машин и механизмов; электромеханика и мехатроника; современные производственные технологии; материаловедение и нанотехнологии в машиностроении; автоматизация и моделирование технологических процессов; промышленная безопасность; дизайн и проектирование в машиностроении. Сборник трудов представляет интерес для специалистов в области материаловедения, сварки, машиностроения, а также для студентов и аспирантов Вузов соответствующих специальностей.

*Редакционная коллегия:*

Арляпов А.Ю. – к.т.н., доцент Ом ИШНПТ ТПУ;

Богдан А.М. – эксперт орг. отдела ИШИТР ТПУ;

Дерюшева В.Н. – к.т.н., доцент Ом ИШНПТ ТПУ;

Ефременков Е.А. – к.т.н., доцент Ом ИШНПТ ТПУ;

Кладиев С.Н. – к.т.н., доцент отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ ТПУ;

Кулинич Е.А. – к.т.н., ученый секретарь ИЯТШ ТПУ;

Пашков Е.Н. – к.т.н., и.о. руководителя ООТД ШБИП ТПУ.

Сечин А.И. – д.т.н., профессор ОКД ИШИТР ТПУ;

Сорокова С.Н. – к.ф.-м.н., доцент Ом ИШНПТ ТПУ;

Черемискина М.С. – ассистент отделения общетехнических дисциплин ШБИП ТПУ.

## Оглавление

<b>СЕКЦИЯ 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ .....</b>	<b>8</b>
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ .....	8
АНАЛИЗ РАБОТЫ АВТОМАТА-ПЕРЕКОСА ВЕРТОЛЁТА .....	12
АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА.....	14
РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР .....	16
АНАЛИЗ КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА .....	19
АНАЛИЗ РАБОТЫ СТАНКА-КАЧАЛКИ .....	21
СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ .....	23
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРУЖЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ .....	28
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ .....	30
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕСУРСА СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ ПО ИЗНОСУ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ РЕЖИМЕ НАГРУЖЕНИЯ.....	33
МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ .....	40
РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ .....	43
АНАЛИЗ РАБОТЫ ПИЛОРАМЫ .....	51
АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА.....	53
АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА КОМПРЕССОРА.....	55
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ.....	57
ПОДШИПНИКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ .....	59
АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ШАССИ САМОЛЁТА .....	63
АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА .....	65
АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ДИЗЕЛЯ .....	67
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРУЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТЕ.....	69
АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ.....	71
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСЦЕНТРИКОВО ЦИКЛОИДАЛЬНОГО (ЭЦ) ЗАЦЕПЛЕНИЯ В ГЛАВНЫХ ПЕРЕДАЧАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ) .....	74

КОНСТРУКТИВНАЯ КОРРЕКТИРОВКА ЦЕНТРА МАСС ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ .....	81
АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА АВАРИЙНОГО РУБИЛЬНИКА .....	84
ЭФФЕКТИВНОЕ ВИБРОИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СУЛЬФАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ ФТОРОВОДОРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	86
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ «УРАЛ» .....	91
АНАЛИЗ РАБОТЫ РОТАТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	95
<b>СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА .....</b>	<b>97</b>
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УЭЦН В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ .....	97
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ РУЛЕВОЙ РЕЙКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА .....	100
ТЯГОВЫЙ ПРИВОД ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ .....	103
КОНВЕЙЕРНЫЕ СИСТЕМЫ .....	106
ЛИТИЙ-ИОННЫЙ АККУМУЛЯТОР TESLA .....	109
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	111
СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В ТЯЖЕЛЫХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ .....	113
ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ .....	116
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ .....	122
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ STM 32 ДЛЯ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	125
ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	130
СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ДЫМОСОСНОЙ УСТАНОВКИ .....	135
<b>СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>137</b>
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КОМПОЗИТА NiTi-TiB <sub>2</sub> .....	137
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИПУСКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕХАНООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ .....	140
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРОВ И НАТЯГА НА ОКРУЖНЫЕ ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ОДНОЦИКЛОВОМ ДОРНОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ .....	145
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКА ДИАМЕТРА ПЛАСТИКОВОЙ НИТИ, ПРОИЗВОДИМОЙ НА КОМПАКТНОМ ЭКСТРУДЕРЕ IT-PRINT .....	148

ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫГЛАЖИВАНИЯ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....	151
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ SLM-ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКА СТАЛИ РН-1 .....	155
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ШХ15 ПРИ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕМ ВЫГЛАЖИВАНИИ КЛИНОВЫМ СКОЛЬЗЯЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ .....	158
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА УСТАНОВКИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ НА ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛУЧАЕМОГО ИЗДЕЛИЯ.....	161
ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ИЗДЕЛИЯ .....	169
ВЛИЯНИЕ ВИДА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	172
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН С БОЛЬШИМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ .....	176
ОСОБЕННОСТЬ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ ПРИ ВРЕЗАНИИ .....	180
АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОСТОЯННОЙ РАДИАЛЬНОЙ СИЛОЙ $P_y$ .....	185
<b>СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ</b>	<b>190</b>
МЕХАНОАКТИВАЦИЯ СВС СИНТЕЗА В ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ ФЕРРОТИТАНА И УГЛЕРОДА .....	190
СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА .....	196
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДВУКОМПОНЕНТНОГО $Zn - Bi_2O_3$ ПОРОШКООБРАЗНОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАРИСТОРНОЙ КЕРАМИКИ .....	200
МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АНТИФРИКЦИОННЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭКСТРУДИРУЕМОЙ МАТРИЦЫ СВМПЭ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	206
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННОГО СПЛАВА (Al-9Si)-40Sn.....	209
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ИЗ СПЛАВА ХН35ВТЮ-ВД .....	215
ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА В РЕЗУЛЬТАТЕ ФРИКЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	217
РАЗРАБОТКА ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ $ZrO_2$ .....	219
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА 1580 ПОСЛЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКИ .....	223

МИКРОСТРУКТУРА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20 ПОСЛЕ НАПЛАВКИ ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ.....	226
ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ 10Х2Г2С2МФ-Ш И 30Х2Г2С2МФ-Ш НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР.....	229
ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ...	233
<b>СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....</b>	<b>237</b>
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ .....	237
ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ТЕПЛОПЕРЕНОС ВНУТРИ ЗАМКНУТОГО РАДИАТОРА, ЗАПОЛНЕННОГО ПАРАФИНОМ .....	240
РАСЧЁТ ВЫРАВНИВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ШИНАХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ .....	243
ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПРОФСТАЖИРОВКИ 2.0 И WORDSKILLS ЧЕРЕЗ ЦИФРОВИЗАЦИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ.....	247
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ С# ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ .....	252
ЗАЩИТА ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ SCADA-СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ ГЕНЕРАТОРАМИ ШУМОВ .....	256
ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ШНЕКА И МУФТЫ ШНЕКОВОЙ МАШИНЫ....	260
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОРЕЗИСТОРА ТИПА ТСР ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО УЛУЧШЕНИЯ ПОРОГА ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ .....	265
ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ LABVIEW И PROTEUS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА .....	272
ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В ВС РФ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПЕЦТЕХНИКИ .....	277
ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦТЕХНИКИ.....	282
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ ПРОФИЛОМЕТРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ .....	286
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ.....	290
МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ В ПЛАЗМОТРОНЕ.....	293
ВИБРОГАСИТЕЛЬ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ .....	298
КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛОСТИ С ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОБЪЕМНОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ .....	302
ОФОРМЛЕНИЕ УЗЛОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА КАРБИДА БОРА В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ .....	307

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛ Я РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	310
<b>СЕКЦИЯ 6. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....</b>	<b>315</b>
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПАСПОРТА БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА .....	315
ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСПИРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ЩЕБНЯ НА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОМ ЗАВОДЕ.....	319
РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЕСПЫЛИВАЮЩИХ УКРЫТИЙ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА.....	322
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И РАЗРАБОТКА САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕРУДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА .....	325
ТАКТИКА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ.....	328
ОБОСНОВАНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО РАССТОЯНИЯ ДЛ Я ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ .....	331
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ОГНЕТУШАЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА.....	333
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	336
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	339
<b>СЕКЦИЯ 7. ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....</b>	<b>343</b>
ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ AUTOCAD .....	343
ДИЗАЙН СВЕТОСЦЕНАРИЕВ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	348
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВЕРСИЙ ПАКЕТА AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL.....	355
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА НА БОЛЬШОЙ ВЫСОТЕ .....	359
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКОГО МЕСТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИДЕНИЯ ДЛ Я ТУРИСТИЧЕСКОГО АВТОБУСА.....	363
ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ .....	369

## **СЕКЦИЯ 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ**

*В.С. Архипенко, ведущий инженер производственно – технической службы ПАО  
«РусГидро» - «Саяно – Шушенская ГЭС имени П.С.Непорожнего»,  
В.А. Жукова, магистрант группы СБ18-01М,  
Саяно – Шушенский филиал Сибирского Федерального университета, 655619, город  
Саяногорск, рабочий поселок Черемушки, дом 46,  
тел.(913)-441-3599  
E-mail: [fishevatory@bk.ru](mailto:fishevatory@bk.ru)*

Для управления затворами гидротехнических сооружений (ГТС) используются специальные механизмы, которые бывают подвижными и стационарными. К подвижным механизмам относятся краны и тельферы, к стационарным – лебедки, гидравлические и электромеханические цилиндры. Широкое применение в России получили гидроцилиндры.

Гидроцилиндр представляет собой объемный гидродвигатель возвратно-поступательного движения, схема устройства которого изображена на рисунке 1. Его рабочей средой является масло. Широкое распространение гидроцилиндров обусловлено наличием преимуществ, таких как большие мощности и усилия при относительно небольших массах и размерах устройств, возможность быстрого переключения скоростей при маневрировании затворами, простота механизмов [1]. К недостаткам гидроподъемников можно отнести значительный износ насосов, клапанов, золотников, которые требуют технического обслуживания (настройки, регулировки, замены) и ремонта; предъявление требований по содержанию механических примесей и влаги к маслу, используемому в гидравлической системе подъемников; внутренние утечки масла, снижающие КПД устройства, и наружные, наносящие ущерб экологической среде.

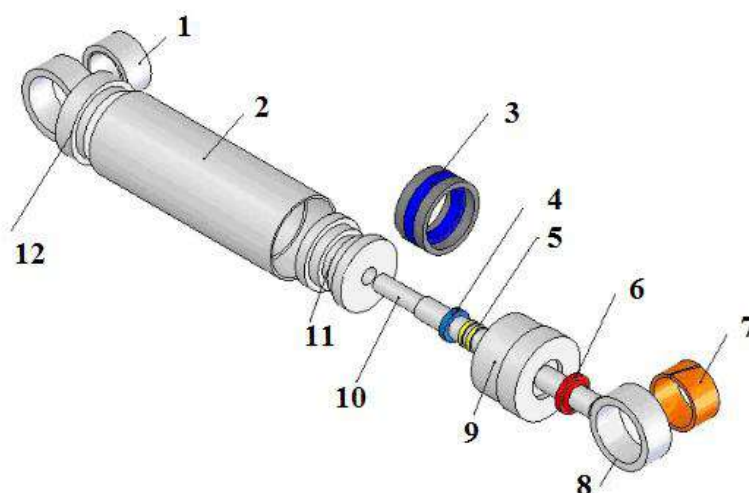


Рис. 1. Устройство гидравлического цилиндра:

1 – подшипник шарнирный скольжения, 2 – цилиндр, 3 – поршневое уплотнение, 4 – штоковое уплотнение, 5 – направляющие, 6 – пыльник, 7 – гтулка, 8 – передняя проушина, 9 – букса, 10 – шток, 11 – поршень, 12 – задняя крышка.

Механизмы индивидуальных приводов затворов, маслонасосные установки гидроприводов и аппаратуры управления должны быть защищены от атмосферных осадков, пыли.



Помещения обслуживания затворов с индивидуальными приводами в районах с холодным климатом выполняются закрытыми. Маслонасосные установки, аппаратура управления и контроля располагаются в отапливаемых вентилируемых помещениях.

В связи с ужесточением требований по экологии [6] и развитием научно-технического прогресса изобретены и внедряются в различные области машиностроения электромеханические цилиндры.

Электроцилиндры обладают такими преимуществами, как высокая экологичность, надежность конструкции, энергоэффективность, удобство монтажа и наладка оборудования, уменьшение затрат на эксплуатацию, возможность интеграции с АСУТП (автоматическая система управления технологическим процессом) и дистанционного мониторинга технического состояния электроцилиндров. Даже эксплуатируясь в особо сложных режимах работы, электроцилиндры характеризуются малым энергопотреблением, что позволяет обеспечить время автономной работы без внешнего питания до 20 часов [7].

Электроцилиндры получили широкое применение на гидротехнических сооружениях в Европейских странах (Германия, Франция, Италия, Бельгия, Нидерланды) [8].

Для маневрирования затворами ГТС в отечественной практике электромеханические цилиндры применены на [3]:

- В Северо-Осетинском филиале ПАО «РусГидро» электроцилиндры в количестве 18 штук установлены для маневрирования затворами на Эзминской ГЭС (головной узел) (установленная мощность 45 МВт) и имеют следующие характеристики: ход штока 2300 мм, усилие на штоке 15 тс.

- На МГЭС «Каллиокоски» (установленная мощность 1 МВт) АО «Норд Гидро» в Карелии электроцилиндры используются для управления затвором водопропускного канала (параметры: ход штока 4650 мм, грузоподъемность 20 тс).

Электромеханический цилиндр представляет собой линейный механический привод на основе шарико-винтовой или ролико-винтовой пары, который преобразует вращательное движение двигателя в поступательное движение штока (рисунок 2). При этом наибольшими усилиями обладают электромеханические цилиндры на основе ролико-винтовой пары, что объясняется наличием большей площади контакта в этой передаче. Электроцилиндр обладает не только высоким КПД, но и точностью позиционирования (от 0,1 мм).

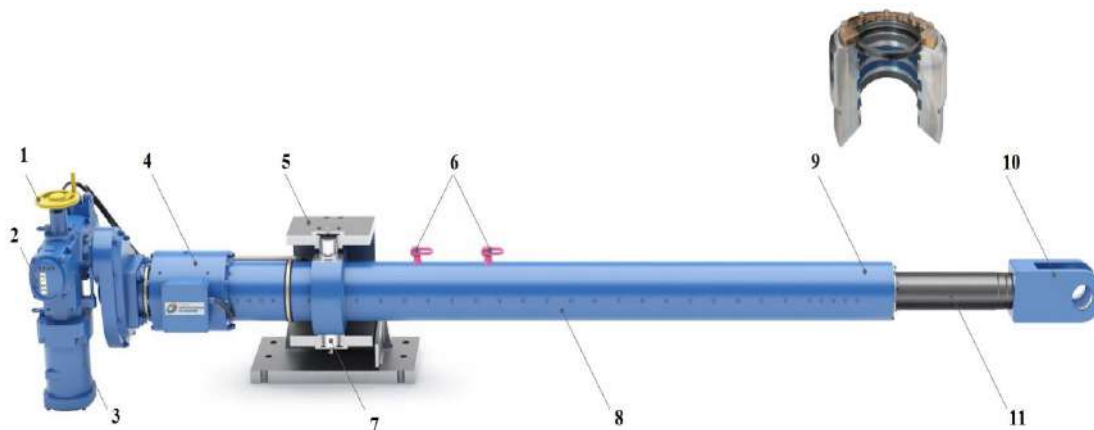


Рис.2. Устройство электромеханического цилиндра:

1 – ручной дублер, панель управления с индикатором положения, мотор-редуктор с датчиками положения, 4 – активный демпфер, 5 – шарнирная опора, 6 – рым-болты, 7 –

цапфа, 8 – корпус, 9 – специализированный блок уплотнений, 10 – шарнирная проушина, 11 – шток из стали с покрытием хромом/керамикой или из нержавеющей стали.

На рисунке 2 представлена схема устройства электромеханического цилиндра. Ручной дублер 1 предназначен для ручного управления электроцилиндром. Панель управления с индикатором положения 2 осуществляет управление и отслеживание положения штока электроцилиндра с передачей сигнала в АСУТП. Мотор – редуктор 3 приводит в движение шток от электрического тока. Активный демпфер 4 гасит механические колебания от штока, возникающие в период работы. Шарнирная опора 5 передает нагрузку от электроцилиндра на закладные части. Рым – болты 6 предназначены для монтажа и демонтажа электроцилиндра. Цапфа 7 соединяет шток и опору. В корпусе 8 соединяет все элементы. Блок уплотнений 9 обеспечивает герметизацию внутренние полости. Шарнирная проушина 10 обеспечивает соединение штока с гидромеханическим оборудованием. Шток 11 обеспечивает линейное движение и выполнен из стали с покрытием хромом/керамикой или из нержавеющей стали.

Таким образом, в таблице 1 приведены сравнительные характеристики гидравлических и электромеханических цилиндров [4].

Таблица 1. Сравнительные характеристики гидравлических и электромеханических цилиндров.

Оцениваемый параметр \ Система	Гидравлическая	Электромеханическая
Состав вспомогательного оборудования	Насосы, резервуар, фильтры, трубопроводы и др.	Силовой и сигнальный кабель
Воздействие на окружающую среду	Вероятно при нарушении герметичности маслосистемы	Отсутствует
Использование при высоких температурах	Требуется охлаждение масла	Не требует дополнительного оборудования
Стоимость монтажных работ	Высокая	Низкая
Интервалы обслуживания	Короткие	Очень длинные
Требуемое обслуживание	Проверка, замена и очистка масла, проверка на протечки и их устранение	Восполнение консистентной смазки
Пожаробезопасность	Только при использовании жидкостей на водной основе	Хорошая
Стоимость эксплуатации	Высокая	Низкая
Сложность точного управления, позиционирования	Высокая (из-за качества масла, температуры, давления, технического состояния)	Малая
Точность (относительно полного хода штока)	Значительно зависит от скорости (возможно на низкой скорости)	Незначительное отклонение
Ход штока	До 22000 мм	До 8000 мм
Линейная скорость	До 500 мм/с	До 100 мм/с
Срок службы	До 30 лет	До 40 лет

Вывод: Электромеханические цилиндры являются инновационным продуктом в России и имеют ряд преимуществ, таких как высокая экологичность, простота конструкции, надежность в эксплуатации, уменьшение затрат на эксплуатацию, долгий срок службы. Поэтому, использование электроцилиндров для маневрирования затворами ГТС возможно, однако необходимо учитывать ограничения по усилию на штоке и длине поршня.

### Список литературы:

1. Наупарац Д. Гидроприводы аварийно-ремонтных затворов // Гидротехника – 2019. – №1. – С.16-17.
2. Шутиков В. И. Применение электроцилиндров для управления направляющим аппаратом гидроагрегатов // Гидротехника – 2018. – № 1. – С.40-41.
3. Белов В.В., Лопатин Е.В., Шавлович З.А. Инновационный проект – электропривод прямого управления направляющим аппаратом для малых ГЭС // Автоматизация и ИТ в энергетике – 2014. – №4. – С. 22.
4. Измайлов А.Ю., Жук А.Ф., Жук В.А. Электромеханическая альтернатива гидравлическому и пневматическому приводу // Новые технологии и оборудование – 2009. – №3 . – С.9-12.
5. Прогрессивные технологии Гидротехнические сооружения. Электроцилиндры для судоводных шлюзов и ГЭС [Электронный ресурс]: Режим доступа: свободный (19.10.19). <https://ptgk.ru/>
6. Экологическая политика группы РусГидро [Электронный ресурс]: Режим доступа: свободный (19.10.19). [http://www.rushydro.ru/corporate/regulations\\_and\\_docs/documents/board/](http://www.rushydro.ru/corporate/regulations_and_docs/documents/board/)
7. Rexroth Bosh group Электроцилиндры [Электронный ресурс]: Режим доступа: свободный (19.10.19). <http://www.brberg.ru/elektrocilindry.shtml>
8. ADE-WERK Привод и подъемная техника [Электронный ресурс]: Режим доступа: свободный (19.10.19). <https://www.ade.de/Unternehmen/>

## АНАЛИЗ РАБОТЫ АВТОМАТА-ПЕРЕКОСА ВЕРТОЛЁТА

*А.Н. Бугаёва, студент гр. 0482*

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

В 1911г. русский ученый Юрьев Б.Н. для реализации полета на одновинтовом вертоптере, использовал механизм собственного изобретения – автомат перекоса. Создание данного механизма стало отправной точкой для развития вертолетостроения [1].

**Автомат перекоса** — механизм для управления несущим винтом вертолётов, автожиров и конвертопланов. Он обеспечивает управление вертикальным перемещением вертолёта, а также его наклоном по крену и тангажу, для этого автомат периодически изменяет угол установки каждой лопасти винта в зависимости от того, где лопасть оказывается в определённый момент времени в ходе вращения винта как целого.

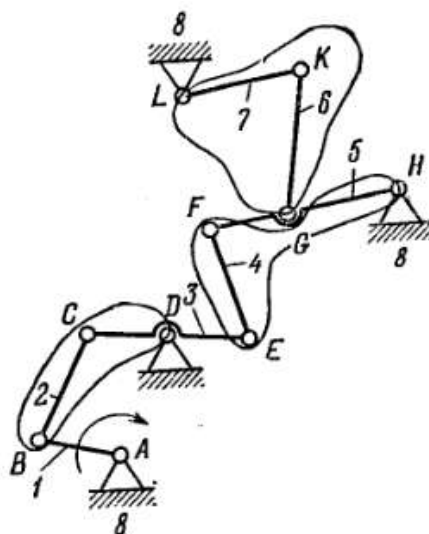


Рис. 1. Кинематическая схема автомата перекоса.

На рисунке1 изображена кинематическая схема автомата-перекоса вертолёта, втулка находится в соединении с валом редуктора при помощи карданного шарнира или шарниром равных угловых скоростей. Использование последнего обеспечивает отклонение плоскости винта относительно оси в любом направлении. Механизм состоит из, кривошипа 1, шатунов 2, 4, 6, коромысел 3, 5, 7, неподвижные опоры 8.

Развитие вертолетостроение привело к тому, что основываясь на первоначальной схеме, предложенной Юрьевым Б.Н., появились различные варианты автомата перекоса. На рисунке 2 представлена одна из вариации автомата перекоса вертолета, где указаны основные элементы механизма.

Конструкция автомат перекоса выполнена из вращающегося и не вращающегося колец, соединяемых подшипником и соосных с валом несущего винта [2]. Оба кольца вместе с соединяющим их подшипником иногда называют тарелкой автомата перекоса. Вращающееся кольцо крепится к валу на кардане, который позволяет произвольным образом ориентировать плоскость автомата перекоса относительно вала, когда одно кольцо вращается, а другое неподвижно. Тяги лопастей прикреплены к вращающемуся кольцу, а тяги, идущие от органов управления, к неподвижному. Перемещение тарелки вдоль вала вызывает вертикальное перемещение тяг лопастей, которое не зависит от азимута и потому изменяет общий шаг лопастей. Если тарелке придать поперечный наклон  $\varphi_a$ , то это вызовет синусоидальное перемещение тяги лопасти по вертикали

$z_{т.л} = \varphi_{а.л}$   $x_{т.л} = \varphi_{а} r_{т.л} \sin \varphi$ . Аналогично продольный наклон тарелки на угол  $\varphi_{а}$  вызывает перемещение  $z_{т.л} = \varphi_{а} r_{т.л} \cos \varphi$ . Таким образом, наклон тарелки автомата перекоса, задаваемый движением ручки управления, обеспечивает управление циклическим шагом лопастей, а вертикальное перемещение тарелки (или его эквивалент, если имеется отдельный механизм) - управление общим шагом.

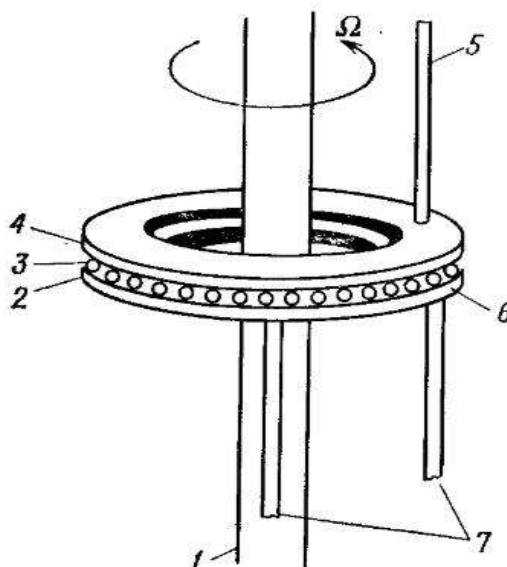


Рис. 2. Схема автомата перекоса: 1 – вал винта; 2 – не вращающееся кольцо; 3 – подшипник; 4 – вращающееся кольцо; 5 – тяга к поводку лопасти (на каждую лопасть по тяге); 6 – наклоняемая тарелка; 7 – к органам управления.

В общем случае действие системы управления можно охарактеризовать положением плоскости управления: наклон этой плоскости определяет циклический шаг, а ее положение по вертикали общий шаг. Так как изменение угла установки лопастей может быть вызвано и другими причинами (например, кинематической связью установочного и махового движений), положение плоскости управления не всегда полностью определяет установочное движение лопасти [3].

### Список литературы:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
3. Моисеенко К. А., Черемискина (Стерхова) М. С. Модернизация насосной системы насосных агрегатов на кустовой насосной станции // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», Екатеринбург, 4-5 Апреля 2019. - Екатеринбург: УГТУ, 2019 - С. 242-244.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

*В.А. Волошин, студент гр. 0782*

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

E-mail: [vav29@tpu.ru](mailto:vav29@tpu.ru)

Применение поршневых компрессоров достаточно широко, но основной областью их использования можно обозначить отрасли, где необходима малая производительность при любых давлениях. Первые упоминания поршневого компрессора, в качестве машины для сжатия и перемещения воздуха в металлургии, относятся к 1765г. Его изобретателем и изготовителем был знаменитый творец паровой машины И.И. Ползунов. Почти до конца XIX века поршневые компрессоры были единственным типом воздуходувных машин, применяемых в промышленности. В 1960-е гг. появились и начали интенсивно внедряться в промышленность поршневые компрессоры без подачи смазки в цилиндры [1].

Согласно ГОСТ 28567-90 "Компрессоры. Термины и определения" поршневым называют компрессор, в котором изменение объема рабочих камер осуществляется поршнями, совершающими линейное возвратно-поступательное движение [2].

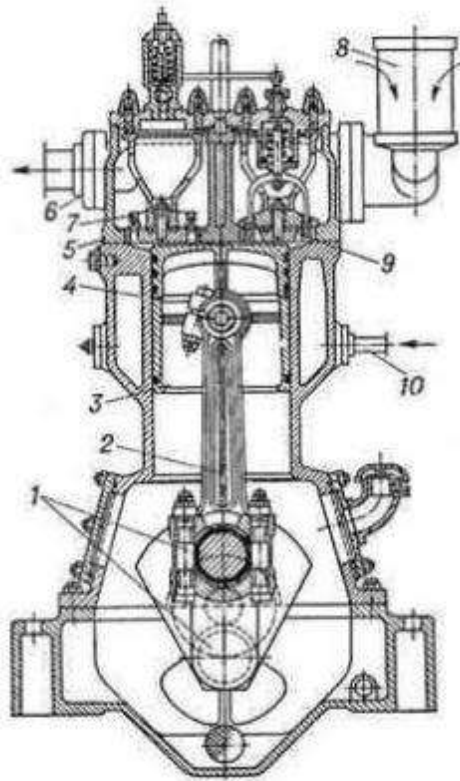


Рис. 1. Поршневой компрессор:

- 1 - коленчатый вал; 2 - шатун; 3 - поршень; 4 - рабочий цилиндр; 5 - крышка цилиндра; 6 - нагнетательный трубопровод; 7 - нагнетательный клапан; 8 - воздухозаборник; 9 - всасывающий клапан; 10 - труба для подвода охлаждающей воды.

Поршневой компрессор (рис.1) состоит из цилиндров и поршней, имеет всасывающие и нагнетательные клапаны, расположенные обычно в крышках цилиндров. В поршневых компрессорах используется кривошипно-шатунный механизм с коленчатым валом. При вращении коленчатого вала соединенный с ним шатун сообщает поршню возвратно-поступательное движение. При движении поршня к нижней мертвой точке в цилиндре снижается давление, и хладагент через всасывающий клапан поступает в цилиндр. При

обратном ходе поршня пары хладагента сжимаются, и при превышении давления паров в цилиндре давления в нагнетательном патрубке пары холодильного агента открывают нагнетательный клапан и поступают в нагнетательный трубопровод. При сжатии паров также повышается их температура, поэтому цилиндр обязательно охлаждается или водой, поступающей в охлаждающую рубашку цилиндра, или воздухом. В последнем случае цилиндры снаружи имеют ребренную поверхность [3].

Поршневые компрессоры предназначены для химической промышленности, холодильных установок, питания пневматических систем, гаражного хозяйства и т.д. Компрессоры могут эксплуатироваться в составе стационарных или передвижных машин, или установок. Различают стационарные, передвижные, переносные, прицепные, самоходные и транспортные компрессоры [4].

К достоинствам поршневых компрессоров можно отнести простоту конструкции, низкую стоимость, высокое давление воздуха на выходе, невысокую стоимость ремонта и обслуживания и стабильную работу в сложных условиях в помещениях с загрязнённым воздухом. Также они выдерживают большое число циклов включения и выключения и отлично подходят для периодической работы.

К недостаткам относятся невысокая производительность, высокий уровень шума и вибраций, необходимость частого техобслуживания и ремонта. К тому же для получения чистого воздуха требуется система фильтров [5].

#### **Список литературы:**

1. История появления компрессоров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://www.ruprom.ru/c\\_article/239](https://www.ruprom.ru/c_article/239), свободный. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 28567-90. "Компрессоры. Термины и определения" [Текст]. - Взамен ОСТ 26.12.2032-86; введ. 1991-07-01. – М.
3. Устройство поршневого компрессора [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s44006t7.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Предназначение поршневых компрессоров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65625a3ac69a5d53a89421216c27\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65625a3ac69a5d53a89421216c27_0.html), свободный. – Загл. с экрана.
5. Преимущества и недостатки поршневых компрессоров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.r93.ru/article/783.html>, свободный. – Загл. с экрана.



## РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР

Гонтарева А.Д., Анисимова А.А.

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

E-mail: [anisimova.anastasia99@mail.ru](mailto:anisimova.anastasia99@mail.ru)

Манипулятор с точки зрения механики и теории механизмов и машин — сложный пространственный управляемый механизм с несколькими степенями свободы, содержащий жесткие и упругие звенья, передачи и приводы. В большинстве случаев звенья манипулятора образуют кинематические пары пятого класса, в которых относительное движение звеньев определяется углом поворота или линейным перемещением. В своей структуре пространственные механизмы содержат большое количество вращательных шарниров [1].

Первые упоминания о пространственных механизмах обнаружились в 250 г. до новой эры: египетский учёный Филон в книге «Механика» описал пространственный четырёхзвенный механизм с вращательными шарнирами, оси шарниров которого пересекаются в одной точке, т. е. создал его теоретически, а на практике это устройство было применено спустя 1800 лет Джероламо Кардано для подвеса компасов [2].

Предшественниками современных роботов явились различные технические устройства для осуществления манипуляционных действий, управляемые человеком. Впервые такие манипуляторы были созданы в 1940–1950 гг. Вначале они приводились в движение за счет мускульной силы человека, затем были созданы манипуляторы с приводами, но управляемые человеком. Изобретение компьютера позволило реализовать новый принцип управления, и вследствие зародилась робототехника.

Первый робот «Versatran», предназначенный для практического использования, появился в США в 1962 г. Затем появились роботы «Unimate1900», которые применялись на заводах фирм «Дженерал Моторс» и «Форд». В 1967 г. начался выпуск этих роботов по лицензии США в Англии, а затем в Японии и Швеции.

В данной работе была рассмотрена структура и принцип действия робота-манипулятора, применяемого в промышленности для захвата и перемещения объектов.

На рисунке 1 представлена схема промышленного робота-манипулятора с тремя степенями свободы [3].

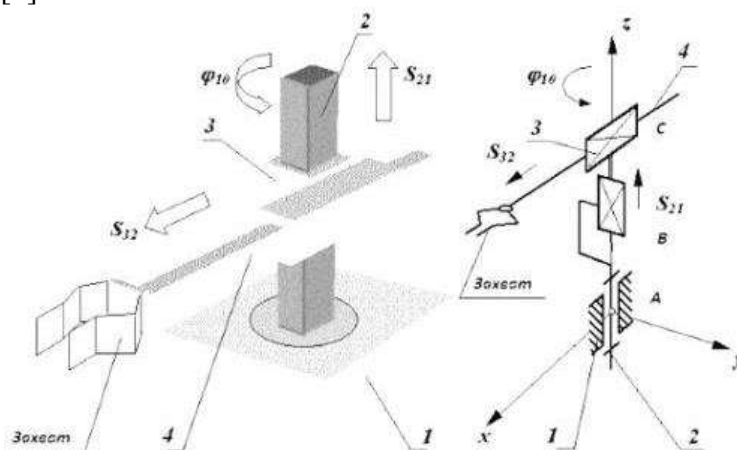


Рис.1 Схема пространственного механизма промышленного робота-манипулятора. 1 – базовое звено; 2 – структурное звено; 3 – звено вертикального перемещения; 4 – горизонтальное звено.



Основной механизм руки манипулятора состоит из неподвижного звена 1 и трех подвижных звеньев 2, 3, 4. Механизм манипулятора соответствует цилиндрической системе координат. Звено 2 может вращаться относительно звена 1 (относительное угловое перемещение  $\phi_{10}$ ); звено 3 перемещается по вертикали относительно звена 2 (относительное линейное перемещение  $S_{21}$ ); звено 4 перемещается в горизонтальной плоскости относительно звена 3 (относительное линейное перемещение  $S_{32}$ ). На конце звена 4 находится рабочий орган, предназначенный для захвата и удержания объекта манипулирования при работе манипулятора. Звенья основного рычажного механизма манипулятора образуют между собой три кинематические пары (одну вращательную А и две поступательные В и С). Для выполнения каждого из трех относительных движений манипулятор должен быть оснащен приводами, которые состоят из двигателей с редуктором и системы датчиков обратной связи.

Промышленный робот манипулятор оснащается одной и более рук и пультом управления. В радиусе их действия он может перемещать тяжелые детали со скоростью до 1000 перемещений в минуту. Управляющий роботом-манипулятором оператор отслеживает его действия на экране либо наблюдает непосредственно. Возможно удаленное наблюдение благодаря камере, которой оснащают робот манипулятор. Нередко роботы способны обучаться, поскольку снабжены специальной программой. Единожды «проведя» его по технологическому процессу, последовательность операций запоминается устройством, а затем точно воспроизводится.

Используют манипуляторы роботы в условиях опасности или труднодоступности, в частности для оснащения глубоководных конструкций, применяемых для выполнения работ на значительных глубинах, в космонавтике, а также для работ, требующих высокой точности (медицинской технике).

К современным МР предъявляются высокие требования по точности и быстродействию при выполнении ими различных заданий, маневренности, устойчивости в работе, выбор иногда требуется проектирование таких систем, в которых оператор чувствует усилие, создаваемое на рабочем органе или на грузозахвате.

Эффективность МР в значительной степени зависит от качества управления ими, высокий уровень которого можно обеспечить только при адекватном учете их кинематических и динамических свойств как на этапах проектирования, так и при эксплуатации [4].

Помимо проблем, связанных с проектированием, изготовлением и обслуживанием роботов-манипуляторов нового поколения, существует сложность в управлении такими механизмами удаленно или через сеть Интернет. Сложность задачи обусловлена наличием задержек в канале связи между роботом и оператором, что делает невозможным его применение в ситуациях, требующих особой точности исполнения команд, например, в хирургии [5].

### Список литературы:

1. Лесков, А.Г. Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов: учебное пособие / А.Г. Лесков, К.В. Бажинова, Е.В. Селиверстова. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 104 с. — ISBN 978-5-7038-4752-7.

2. Моисеенко К. А., Черемискина (Стерхова) М. С. Реконструкция подстанции "Стародубская" // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 т., Новосибирск, 3-7 Декабря 2018. - Новосибирск: НГТУ, 2018 - Т. 4 - С. 62-66

2. Мудров А.Г., Марданов Р.Ш. Обзор исследований пространственных механизмов с вращательными шарнирами / Мудров А.Г., Марданов Р.Ш. // Теория механизмов и машин. – 2015. - № 13. – С. 62-74.

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

3. Борисенко, Л.А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: учебное пособие / Л.А. Борисенко. — Минск: Новое знание, 2011. — 285 с. — ISBN 978-985-475-430-7.
4. Седых, Л.В. Прогрессивное технологическое оборудование: учебное пособие / Л.В. Седых. — Москва: МИСИС, 2017. — 95 с. — ISBN 978-5-906953-37-7.
5. Белоусов И.Р. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: «Метод моделирования и дистанционного управления движением роботов»

## АНАЛИЗ КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА

А.Д. Громов, студент гр. 0782

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

Клапан – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Клапан предназначен для регулирования, временного преграждения протока жидкости или газа.

Кинематическая схема клапанного механизма изображена на рисунке 1.

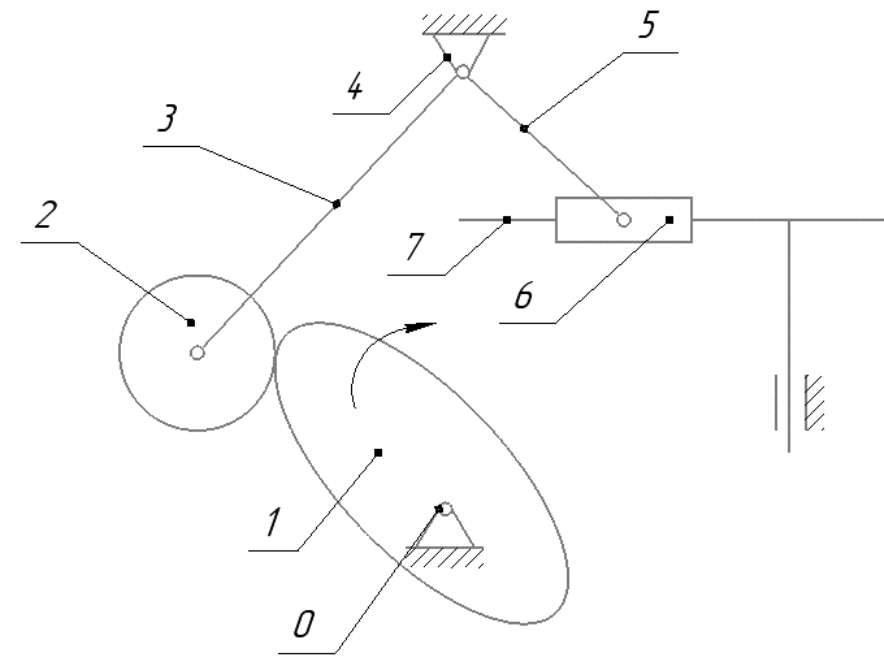


Рис. 1. Кинематическая схема клапанного механизма

Механизм состоит из стойки с шарниром 0, о. тела 1, валов 2, 4, нитей 3, 5, камень кулисы 6, кулисы-ползуна 7.

Клапаны бывают *шарнирные* (также вращающиеся или поворотные), в которых отверстие *cd* на рисунке 2 закрывается крышкой *ca*, вращающейся на неподвижной оси *c*, и *подъемные*, в которых крышка *ca*, закрепленная на стержне *bb*, закрывает отверстие *dd*, перемещаясь параллельно на рисунке 3.

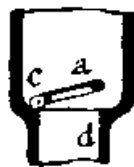


Рис. 2. Шарнирный клапан

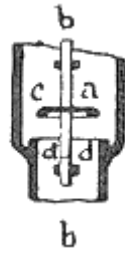


Рис. 3. Подъемный клапан

В клапанах первого типа струя вытекающей жидкости должна направиться в сторону открывающегося отверстия и, следовательно, отклоняется от прямолинейного направления; отверстие же подъемного клапана открывается равномерно, а потому клапаны последнего рода более совершенны. Часть, с которой соприкасается клапан при закрытом отверстии, называется седлищем клапана, а тело, в котором помещен клапан, гнездом или коробкой. В зависимости от целей, клапан устраивается таким образом, чтобы им можно было управлять рукой, посредством рукоятки, рычага, колеса или винта (запорные клапаны), или же клапан открывается напором жидкости (самодействующие или автоматические клапаны). Причем в последнем случае действие клапана может быть периодическим, и тогда он составляет часть механизма (как, например, в насосах), или же он действует лишь при особых условиях. Подъемные клапаны могут быть плоские (тарелочные), конические и шаровые. Самодействующие клапаны насосов, воздуходувок и т. д. должны иметь направляющие, для предотвращения боковых отклонений. Шаровые клапаны, вследствие недостаточного их направления, применимы только для второстепенных целей. Хорошее направление движения достигается при возможно низком положении центра тяжести клапана. Как К., так и седлище делаются металлическими, иногда же К. снабжается упругой прокладкой (кожа, твердая резина, вулканизированный каучук и т. д.).

#### Список литературы:

1. ГОСТ Р 52720-2007 «Арматура трубопроводная. Термины и определения».
2. Клапан в технике// Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
3. Моисеенко К. А. , Черемискина (Стерхова) М. С. Проблема разлива масла на масляных выключателях // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 22-24 Ноября 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 33-34



маслонаполненным понижающим редуктором через клиноремённую передачу. Редуктор же, в свою очередь, соединяется с балансиром через кривошипно-шатунный механизм. Этот механизм преобразует вращательное движение вала редуктора в возвратно-поступательное движение балансира.

Станция управления представляет собой шкаф, в котором расположена электроаппаратура. Вблизи станции управления (или прямо на ней) выведен ручной тормоз станка-качалки. На самой станции управления расположен ключ (для замыкания электросети) и амперметр[2,3]. Последний — очень важный элемент, особенно в работе оператора добычи нефти и газа. Нулевая отметка у амперметра поставлена в середину шкалы, а стрелка-указатель движется то в отрицательную, то в положительную область. Именно по отклонению влево-вправо оператор определяет нагрузку на станок — отклонения в обе стороны должны быть примерно равными. Если же условие равенства не выполняется, значит, станок работает вхолостую.



Рис.5. Анимированная модель станка-качалки для добычи нефти

По виду выполнения балансира станки-качалки подразделяются на станки-качалки с двухплечим балансиром и станки-качалки с одноплечим балансиром.

При оценке важнейших характеристик станка-качалки обязательно учитывают: рабочую штоковую нагрузку; максимальный ход плунжера; габариты редуктора; величину крутящего момента выходного вала; частоту качаний.

Станки-качалки как в прошлом, так и в настоящем имеют широкое применение на нефтяных промыслах. Можно прогнозировать, что в ближайшие годы спрос на станки-качалки останется на прежнем уровне, каких-либо изменений не произойдет, а дальнейшее развитие будет идти в направлении создания и совершенствования нетрадиционных конструкций.

#### Список литературы:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Волков С.А., Сулакшин С.С., Андреев М.М., Буровое дело, М., 1965
3. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.

## СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ

*И.М. Дюсебаев магистр технических наук*  
*Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им.*  
*К.И.Сатпаева, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а,*  
*тел. +7(777)3824525*  
E-mail: [nomad.i.m.13@mail.ru](mailto:nomad.i.m.13@mail.ru)

На сегодняшний день в ветроэнергетике самое распространенное и имеющие различные виды, модификации - это горизонтально осевые ветроэнергетические установки (ВЭУ) пропеллерного типа. Для таких ВЭУ накоплен огромный опыт проектирования и эксплуатации, а в современных конструкциях ВЭУ реализованы последние достижения науки и техники [1]. Дальнейшее совершенствование ВЭУ пропеллерного типа является проблематичным, и нужен поиск альтернативных путей развития ветроэнергетики. Наиболее перспективным путем, по оценкам специалистов, является разработка вертикально-осевых ВЭУ, у которых ветровой поток направлен перпендикулярно оси вращения. Преимуществом таких установок является возможность размещения редуктора [2] и электрического генератора непосредственно у основания установки, а не в самой башне, поднимаемой на самый верх конструкции. Турбины в установках с вертикальной и горизонтальной компоновками имеют внешнее различия, но конструктивно похожи осями вращения. Кинетическая энергия ветра, получаемая при действии воздушных потоков с лопастями ветровой турбины, через мультипликатор передается на электрический генератор. Благодаря механической трансмиссии генератор может работать эффективно при различных скоростях ветра. Полученная электрическая энергия может быть использована:

- напрямую своим потребителем;
- поступать в электрическую сеть для общего использования;
- накапливаться для более позднего использования в аккумуляторных батареях.

Основные разновидности конструкций лопастей ветроустановок представлены на рисунке 1. Они подразделяются на две основные группы:

- ветроустановки с горизонтальной осью вращения – крыльчатые (рис.1,2-5);
- ветроустановки с вертикальной осью вращения – карусельные: лопастные (рис.1, 1); ортогональные (рис.1, 6).

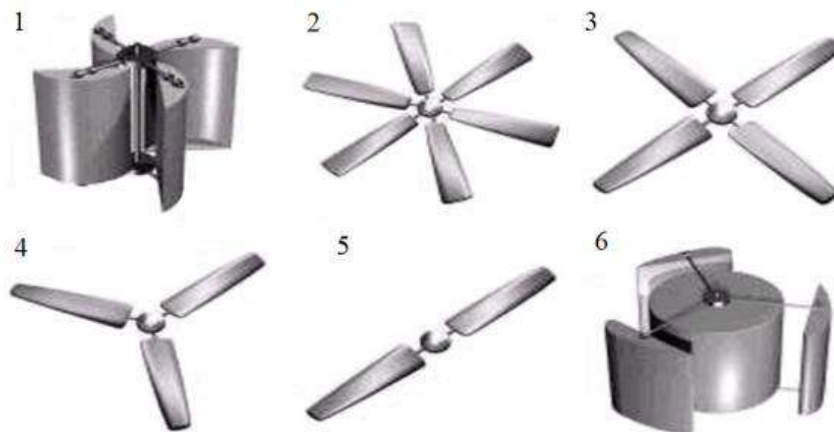


Рис. 1. Конструктивные особенности лопастей ветроустановок

ВЭУ с вертикальной осью, появились сравнительно недавно. В 1929 г. Савониус (Рис. 2) предложил ротор с S-образными лопастями [3], а Дарье (Рис. 3) в 1931 г. с изогнутыми [3]. В 1975 г. Масгроув видоизменил ротор Дарье, заменив искривленные лопасти прямыми. Вращающий момент на роторе Савониуса возникает за счет разности сил сопротивления на S-образных лопастях [4]. Коэффициент использования энергии потока для такого ротора не превышает 20%, что тормозит его практическое применение.

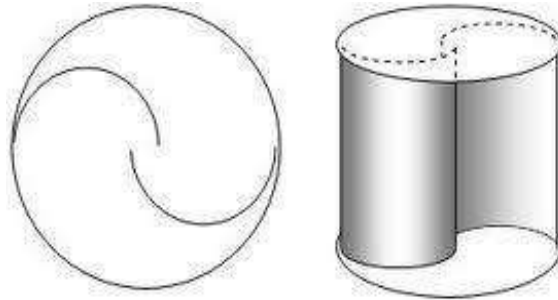


Рис. 2. Ротор Савониуса

Главная особенность вертикальных роторов независимость их работы от направления ветрового потока. Это позволяет существенно упростить конструкцию ВЭУ, отказываясь от сложных и малонадежных систем ориентации, необходимых для ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Другая важная особенность ротора с вертикальной осью и прямыми лопастями относительно низкая степень быстроходности.

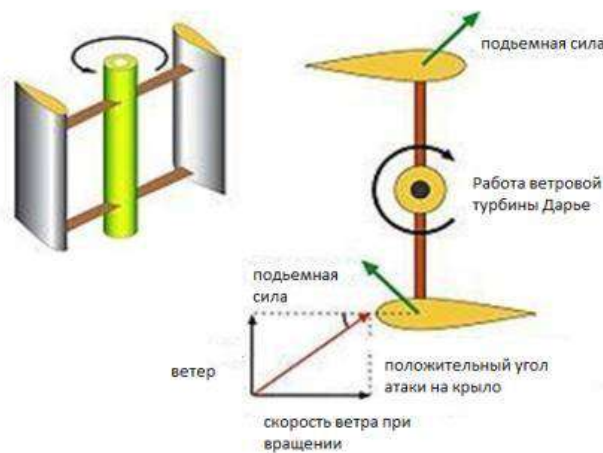


Рис. 3. Ветроустановка на базе ротора Дарье

Существует множество фирм, занимающихся производством и монтажом ветровых установок. Ведущими странам в ветроэнергетике являются: Германия, Дания, Великобритания, США, Франция. Лидером мирового производства и использования ВЭУ является Европа (61%), однако наблюдается рост ветроэнергетики и в странах Азии [5]. Распределение производства ВЭУ в мире (Рис 4).



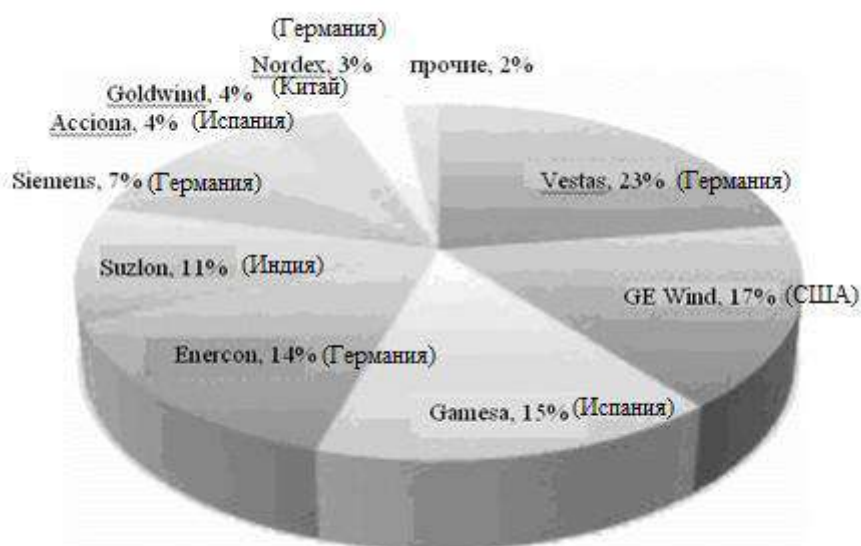


Рис. 4. Распределение производства ВЭУ между ведущими фирмами ветроэнергетики

В последнее время появились перспективные разработки комбинированных ВЭУ – с классическим крыльчатим колесом на вертикальном валу. И хотя они проигрывают в коэффициенте использования энергии ветра (КИЕВ) классическим конструкциям ВЭУ с горизонтальной осью из-за изменения направления воздушного потока (ВП), но приобретают отмеченные выше достоинства.

Сотрудники австралийской компании Katru Eco-Energy во главе с ее основателем – изобретателем Вараном Сурешаном – разработали новый вид ветряных турбин (Рис. 5), предназначенных для захвата воздушных потоков, возникающих на крышах высотных зданий [6].



Рис. 5. Пример внешнего вида ветряных турбин, предназначенных для захвата воздушных потоков, веющих на крышах высотных зданий

Другая разновидность ВЭУ с вертикальной осью – карусельные ветроустановки (КВ). КВ имеет ряд преимуществ по сравнению с рассмотренными ранее ВЭУ. При увеличении скорости ВП КВ быстро наращивают силу тяги, после чего скорость вращения стабилизируется. Они работают на принципе лобового сопротивления.

Сотрудником КазНИТУ им К.И. Сатпаева, к.т.н. Аскарным Е.С. была разработана карусельная ветроустановка (Рис.6). Достоинством этой схемы является то, что на

основание ставится сборная ось, у которой необходимо обеспечить соосность только в местах установки соединительных втулок [7]. Для оси не требуется опоры в верхней точке. Все эти факторы значительно упрощают технологию изготовления ветровой энергоустановки (на 25-30%). Следует отметить, что именно проблема длинного вертикального вала является основой, сдерживающей широкое применение роторных ветроустановок на практике. Также масса втулок намного меньше массы длинного вала, следовательно, их вес будет создавать меньший момент трения в нижней вращательной опоре, что, несомненно, повысит КПД установки. Данное решение может быть применено в любой схеме ветроустановки с вертикальной осью вращения ротора, например, схема Савониуса, Дарье, Эванса, Масгрува, карусельная и т.д.

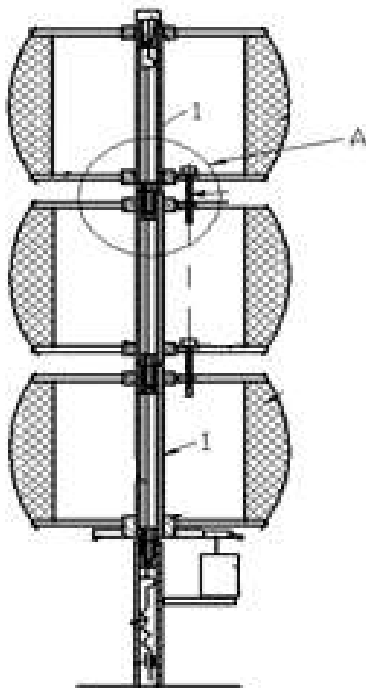


Рис. 6. Предлагаемая схема конструкции с жесткой осью.

Ветроэнергетика является наиболее развивающейся отраслью промышленности. Средний показатель роста мирового ветроэнергетического сектора в год составляет более 26 % [3].

В связи с этим использование ветроустановок с вертикальной осью расширяется, однако существует ряд проблем, связанных с конструктивными элементами ВЭУ, приводящих к возникновению аварийных ситуаций (отрыв лопастей, вероятность возгорания гондолы). Пожары происходят по двум основным причинам: удар молнии или технические ошибки и неисправности. При технологических неисправностях возгорания возникают от перегрева и искрения, однако имеет место и человеческий фактор. В обоих случаях горят смазочные материалы, масла, трансмиссионные горючие жидкости и оболочка гондолы [8].

Таким образом, для повышения эффективности использования ветроустановок и упрощения конструкции, что приводит к снижению ее стоимости, необходимо проводить анализ надежности эксплуатации ВЭУ на этапе проектирования. За прототип решено выбрать карусельную ветроустановку с составным валом. Для данной конструкции следует выполнить анализ материалов и произвести расчёты, позволяющие адекватно

отразить динамическое поведение, как отдельных ее элементов, так и ВЭУ как единой механической системы с учетом всего спектра действующих на нее нагрузок.

**Список литературы:**

1. Галась М.И., Дымковец Ю.П., Акаев Н.А., Костюков И.Ю. О целесообразности создания вертикально-осевых ветроэлектрических установок мега ваттного класса // Энергетическое строительство. 1991. № 3. С. 33-37.
2. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 1. С. 131-135.
3. Горелов Д.Н. Проблемы аэродинамики ветроколеса Дарье // Теплофизика и аэромеханика. 2003. Т. 10, № 1. С. 47-51.
4. Ротор Савониуса. – URL: [www.wetroenergetika.ru/14%20savoinus.html](http://www.wetroenergetika.ru/14%20savoinus.html).
5. Сокут Л.Д. Состояние и перспективы развития ветроэнергетики в мире и на Украине // Строительство и техногенная безопасность. – 2009. – № 27. – С. 93-105.
6. [www.ecoseed.org](http://www.ecoseed.org)
7. Аскарлов Е.С. Иннов. патент РК № 22192 «Ветровая энергоустановка с вертикальной осью вращения ветроколеса», Бюл. № 1 от 15.01.2010.
8. Мурашевский В.В. Ветровая энергетическая установка // Патент России №2277642. 2006.
9. Дмитриев Г.С. Как уберечься от пожаров на ветроэнергетических установках. – М.: Энергия, 2006. – № 4. – С. 35-39.
10. Духанин Ю.А., Акулин Д.Ф. Техника безопасности и противопожарная техника в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1973. – 304 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРУЖЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Е.А. Ефременков, к.т.н., доц.,*

*С.К. Ефременкова, ст. преподаватель*

<sup>1</sup>*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)- 606-392*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050,  
г.Томск, пр.Ленина,40*

E-mail: [ephrea@mail.ru](mailto:ephrea@mail.ru)

В современной машинах и механизмах все более востребованы передачи с промежуточными телами качения (ПТК). Для высоконагруженных машин таких, как горнопроходческие и горнодобывающие, наиболее важным параметром является высокая нагрузочная способность передач, входящих в их состав, и способность воспринимать значительные перегрузки, сохраняя работоспособность. Обеспечить горной машине такие характеристики позволяет передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО). При проектировании механических передач, в том числе и для горных машин, определяющим показателем прочности является площадь поперечного сечения несущих деталей передачи. А размеры сечения определяются исходя из условия контактной прочности. Поэтому определение контактных напряжений в передаче с ПТКСО из условия прочности является актуальным для проектирования высоконагруженных механизмов для горных работ.

Расчетом контактных напряжений в передачах с ПТК занимались ученые в России, Белоруссии [1,2,3], но выражения для определения контактных напряжений, исходя из условия прочности, представлено не было. Поэтому целью работы является получение выражения для определения контактных напряжений из условия прочности через исходные параметры передачи с ПТКСО.

Условие прочности на контактные напряжения записывается как:

$$(\sigma_H)_p \leq [\sigma_H].$$

Рассмотрим формулу для определения контактных напряжений на  $i$ -ом теле качения передачи с ПТКСО [2]:

$$(\sigma_H)_i = \sqrt{\frac{F_i (\rho_{2i} \pm \rho_{1i})}{\pi l_b \rho_{1i} \rho_{2i} \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}}, \quad (1)$$

где  $F_i$  – нормальная сила к поверхности контакта колеса с  $i$ -ым телом качения;

$\rho_{1i}, \rho_{2i}$  – радиусы кривизны в точке контакта контактирующих тел – профиля колеса и тела качения соответственно;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона для материалов колеса и тела качения соответственно;

$E_1, E_2$  – модули упругости для первого и второго контактирующих тел;

$l_b$  – длина тела качения.

Знак «+» используется для выпукло-выпуклого контакта, а знак «-» - для выпукло-вогнутого. Если принять, что колеса с циклоидальным профилем и тела качения делаются из одного материала, как это в основном бывает, а усилие представить через крутящий момент на внутреннем циклоидальном колесе передач, то выражение (1) примет вид

$$(\sigma_H)_i = \sqrt{\frac{T_E h_i E(\rho_{2i} \pm \rho_{1i})}{2\pi \cdot l_b \cdot \rho_{2i} \rho_{1i} (1-\mu^2) \Sigma h_i^2}} \quad (2)$$

Радиусы кривизны через исходные параметры передачи с ПТКСО определены в работе [4]. Исходными параметрами для передачи с ПТКСО являются:  $r_2$  – радиус производящей окружности,  $Z_2$  – число тел качения,  $\chi$  – коэффициент смещения и  $r_b$  – радиус тела качения. Выражение для суммы и произведения радиусов кривизны внутреннего циклоидального колеса передачи с ПТКСО и тела качения через исходные параметры можно представить следующим образом:

$$\rho_2 + \rho_1 = r_b + r_2 \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi} - r_b - \frac{Z_2 r_2 i_{21} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi}}{\chi Z_1 \cos\varphi + \frac{\chi^2 \cdot \sin^2\varphi}{(1 - \chi \cos\varphi)} + Z_2 (1 - \chi \cos\varphi)};$$

$$\rho_2 \cdot \rho_1 = r_b r_2 \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi} - r_b^2 - \frac{r_b Z_2 r_2 i_{21} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi}}{\chi Z_1 \cos\varphi + \frac{\chi^2 \cdot \sin^2\varphi}{(1 - \chi \cos\varphi)} + Z_2 (1 - \chi \cos\varphi)}.$$

Выражение для плеча  $h$  через исходные параметры, запишется как:

$$h_i = \frac{i_{21} r_c \cdot \sin\varphi}{\sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi}}$$

Здесь  $i_{21}$  обозначено передаточное отношение от тел качения к внутреннему колесу передачи.

Подставив полученные выражения в (2) и обозначив  $a = \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos\varphi}$  и

$$k = \left( 1 - \frac{Z_2 i_{21}}{\chi Z_1 \cos\varphi + \frac{\chi^2 \cdot \sin^2\varphi}{(1 - \chi \cos\varphi)} + Z_2 (1 - \chi \cos\varphi)} \right) \text{ после преобразований получим:}$$

$$(\sigma_H)_i = \sqrt{\frac{T_{\text{вх}} E \cdot k \cdot \sin\varphi}{2\pi \cdot r_1 (1-\mu^2) r_b a r_c i_{21} \left(k - \frac{r_b}{r_2 a}\right) \Sigma \left(\frac{\sin\varphi}{a}\right)^2}} \quad (3)$$

Полагая, что колеса передачи и тела качения изготавливаются из стали, вынесем из под корня постоянные величины. Тогда условие контактной прочности для передачи с ПТКСО запишем, как:

$$(\sigma_H)_{\text{max}} = 191,65 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{T_{\text{вх}} \cdot k \cdot \sin\varphi}{r_1 r_b a r_c i_{21} \left(k - \frac{r_b}{r_2 a}\right) \Sigma \left(\frac{\sin\varphi}{a}\right)^2}} \leq [\sigma_H]$$

Таким образом, получено выражение для определения контактных напряжений из условия прочности в зацеплении передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой.

### Список литературы:

1. An I-Kan, П'ин А.С., 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.
2. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
3. Lustenkov, М.Е. Planetary Ball Transmissions: Strength Calculations // Russian Engineering Research. – 2010, Vol.30, No. 9, pp. 862-866.
4. Ефременков Е.А., Ан И-Кан Определение радиусов кривизны циклоидальных профилей с использованием метода Эйлера-Савари // Вестник машиностроения. – 2010. – № 10. – С. 47-50.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ

*Е.А. Ефременков, к.т.н.*

*Э. Бонnard, студент гр.*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-606-392*

*Томский университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, г.Томск,  
пр.Ленина,40*

E-mail: [ephrea@mail.ru](mailto:ephrea@mail.ru)

В современной промышленности все более востребованы передачи с промежуточными телами качения вообще и передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО) в частности. В связи с возрастающей потребностью в проектировании механизмов на базе передачи с ПТКСО возникает необходимость в ускорении проведения расчетов и проектирования таких передач и механизмов в целом. Среди прочих характеристик передачи с ПТКСО не маловажным являются силовые параметры, которые способна обеспечить данная передача. Однако, при выполнении расчетов усилий и контактных напряжений в зацеплении передачи «в ручную» велика вероятность возникновения ошибки и получения не корректного результата. Поэтому автоматизация расчета силовых параметров передачи с ПТКСО и разработка расчетной программы является актуальной.

Определение усилий в передаче с ПТКСО было проведено в работе [1], а определение контактных напряжений описано в [2]. Последовательность вычисления радиусов кривизны профилей было решено взять из [3]. Обобщая методики, представленные в источниках была разработана программа расчета усилий и контактных напряжений в зацеплении передачи с ПТКСО, интерфейс которой представлен на рисунке 1.

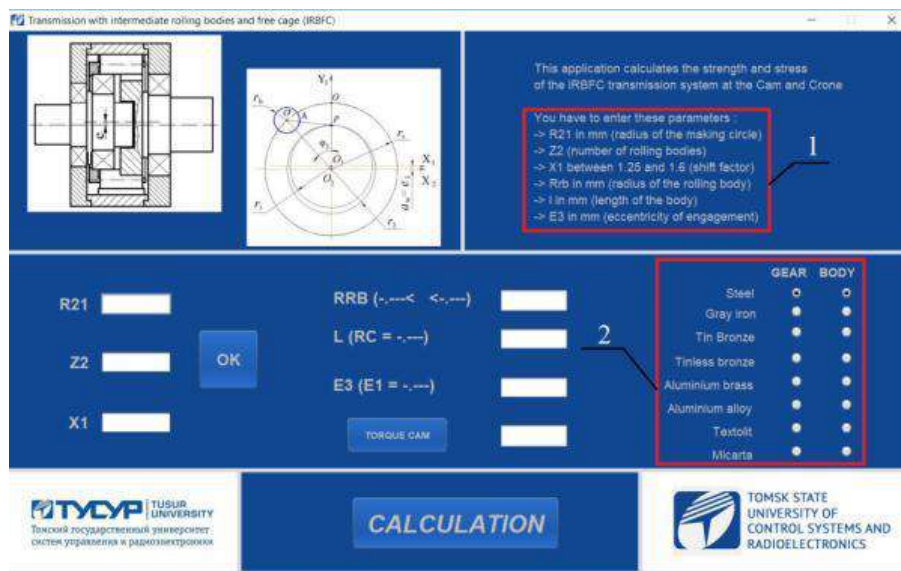


Рис. 1. Интерфейс программы автоматизированного расчета силовых параметров передачи с ПТКСО.

Интерфейс расчетной программы (рис.1) поясняет значение вводимых параметров и размерность, в которой они должны быть введены в программу, обозначено рамкой 1.



Также в программе предусмотрена возможность задать материал зубчатых колес и тел качения передачи, это находится в правой нижней части интерфейса (рамка 2).

В процессе работы с программой первоначально необходимо ввести значения трех исходных параметров: радиуса производящей окружности  $R_{21}$ , числа тел качения  $Z_2$  и коэффициента смещения  $\chi$ . После нажатия кнопки «ОК» происходит вычисление промежуточных параметров (радиуса центров тел качения и эксцентриситета) и диапазона возможных значений радиуса тела качения. Затем можно ввести оставшиеся данные, необходимые для расчета усилий и контактных напряжений (рис. 2).

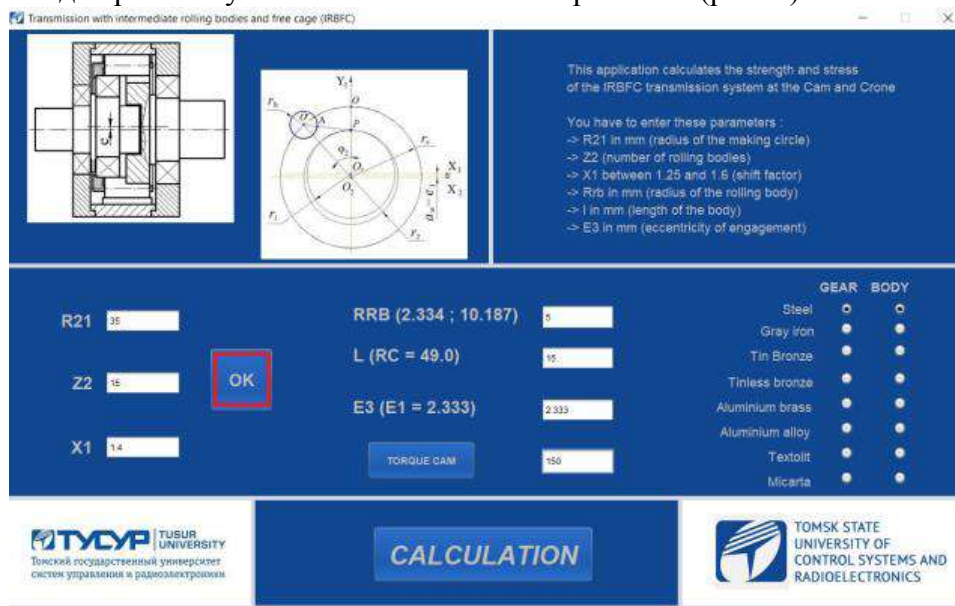


Рис. 2. Введение исходных и дополнительных параметров для расчета усилий и контактных напряжений.

Когда все необходимые данные введены и выбран материал контактирующих звеньев передачи, нажимают кнопку «CALCULATION», после чего открываются два окна с графиками изменения усилий и контактных напряжений в зацеплении передачи с ПТКСО вдоль рабочего участка профиля (рис. 3).

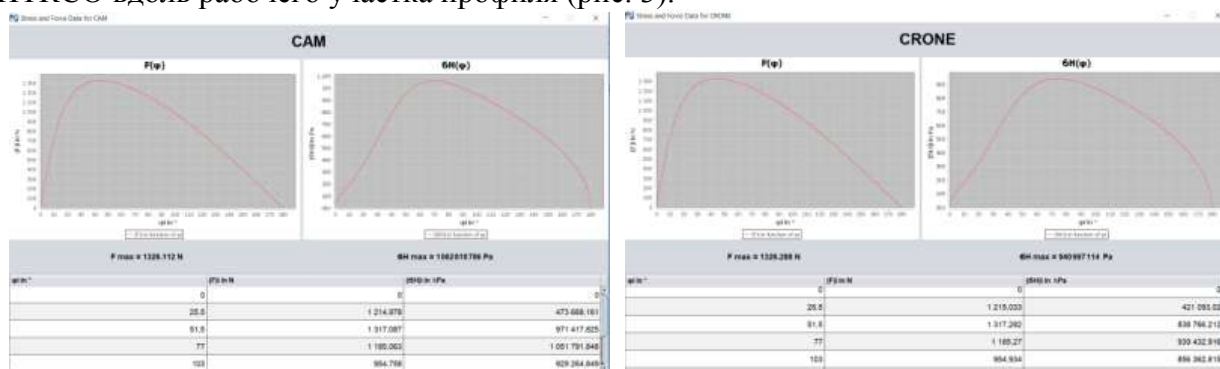


Рис. 3. Результаты работы программы автоматизированного расчета.

Таким образом, разработанная программа автоматизированного расчета позволяет определить максимальное значение силы и контактного напряжения, возникающих в зацеплении передачи с ПТКСО, выдает значение этих же параметров для каждого тела качения в табличном виде и их изменение от положения тела качения в графическом виде. На разработанное программное обеспечение получено Свидетельство № 2019660019.

### Список литературы:

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

1. Ефременков Е.А. Определение усилий в передаче с промежуточными телами качения и свободной обоймой // Сборник трудов VI межотраслевой научно-технической конференции «Автоматизация и прогрессивные технологии в атомной отрасли». Новоуральск: НГТИ – 2009. – Том I. С.123-126.
2. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
3. Ефременков Е.А., Ан И-Кан Определение радиусов кривизны циклоидальных профилей с использованием метода Эйлера-Савари // Вестник машиностроения: научно-технический и производственный журнал. — 2010. — № 10. — С.47-50.



## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕСУРСА СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ ПО ИЗНОСУ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ РЕЖИМЕ НАГРУЖЕНИЯ

*А.В. Зайцев, старший преподаватель  
Сибирский государственный университет путей сообщения 630049,  
Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191  
E-mail: zaitsev.zaw@yandex.ru*

**Аннотация:** Выполнен анализ причин возникновения выхода из строя механизмов и приводов грузоподъемных, строительных, дорожных машин на основе передач зацеплением, а также передач червячного класса, которыми являются контактные разрушения активных поверхностей зубьев зубчатых колес, приводящих к неисправностям, поломкам, отказам в виде износа и задиров. Приведена циклограмма, характеризующая режим работы зубчатой пары, учитывающая действие максимальной нагрузки на контактную выносливость и на выносливость зубьев при изгибе и которая используется при расчетах на прочность прямозубых и косозубых цилиндрических передач.

Обоснована необходимость создания метода расчета по износу спироидных передач с учетом переменного режима нагружения и времени действия нагрузки на основе анализа графиков нагружения механизмов и приводов подъемно-транспортных машин и оборудования, где применяется данный вид передач, в частности в приводе механизмов запорной арматуры, в приводе винтового горизонтального конвейера, в кабелесборочном механизме электропогрузчика, в приводе тяговой лебедки укладочного крана УК-25/9-18 для перетягивания пакетов звеньев рельсошпальной решетки.

Разработанный метод позволяет с учетом реальных режимов эксплуатации подъемно-транспортных машин, оборудования и механизмов по экспериментально полученной зависимости интенсивности изнашивания зубьев спироидного колеса от значений вращающего момента на выходном валу спироидного редуктора определить значения интенсивности изнашивания и рассчитать ресурс спироидного редуктора с учетом длительности действия значений вращающего момента в соответствии с установленным графиком переменного нагружения механизмов грузоподъемных, строительных и дорожных машин.

**Ключевые слова:** износ; интенсивность изнашивания; передачи зацеплением; ресурс; спироидная передача, график переменного нагружения.

В результате действия постоянных или переменных в течение времени полезных сопротивлений, в процессе эксплуатации, возникающих на рабочем оборудовании, в зубчатых зацеплениях механических передач образуются контактные разрушения активных поверхностей звеньев, износ, задиры по боковым поверхностям зубьев и изломы, что является причиной выхода из строя механизмов привода грузоподъемных, строительных и дорожных машин [1-5]. Данный вид разрушения характерен для закаленных поверхностей зубьев зубчатых колес и выявляется прогрессирующим выкрашиванием материала, которое может достигать значительных размеров, а также на упрочненных поверхностях зубьев отслаиванием крупных участков слоя металла [6-14].

Параллельно с червячными передачами последние полвека в различных областях техники применяются спироидные передачи, которые относятся к червячному типу (рис. 1 [12, 15-16]). Они получили широкое распространение в приводах механизмах подъемно-транспортных машин и оборудования, работающих как при постоянном, так и при переменном режимах нагружения.



Рис. 1. Спиroidная передача

В связи с тем, что значительное число приводов механизмов грузоподъемных, строительных и дорожных машин эксплуатируется при режимах с переменной нагрузкой на рабочем оборудовании в течение цикла, создание метода расчета ресурса спиройдной передачи по износу, учитывающего переменность нагрузки, становится актуальной задачей.

Сложность создания универсального метода расчета зубчатых передач по износу заключается в определении значений вращающих моментов на выходном валу редуктора в течение циклов нагружения и продолжительности их действия с учетом условий эксплуатации грузоподъемных, строительных и дорожных машин.

Также большую трудоемкость и сложность представляет экспериментальное определение интенсивности изнашивания материалов зубчатого колеса, что требует создания лабораторного универсального оборудования для испытания натуральных и модельных образцов, которое обеспечивало бы широкий диапазон изменения условий испытаний, имитирующих реальные режимы эксплуатации машин и механизмов.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости интенсивности  $J_h$  изнашивания и ресурса  $L$  зубьев спиройдного колеса от значений вращающего момента на выходном валу редуктора  $T_i$ . Данная зависимость  $J_h=F(T_i)$  позволяет найти интенсивности изнашивания зуба спиройдного колеса для соответствующих значений вращающего момента  $T_i$  установленного графика переменного нагружения.

### **Порядок расчета ресурса спиройдной цилиндрической передачи при переменном режиме нагружения**

1. Устанавливается график нагружения механизма в соответствии с количеством ранжированных относительных значений вращающих моментов на выходном валу спиройдного редуктора в порядке уменьшения и относительной продолжительностью их действия (рис. 3).

2. Рассчитываются основные параметры спиройдного редуктора, необходимые для расчета ресурса (таблица 1).

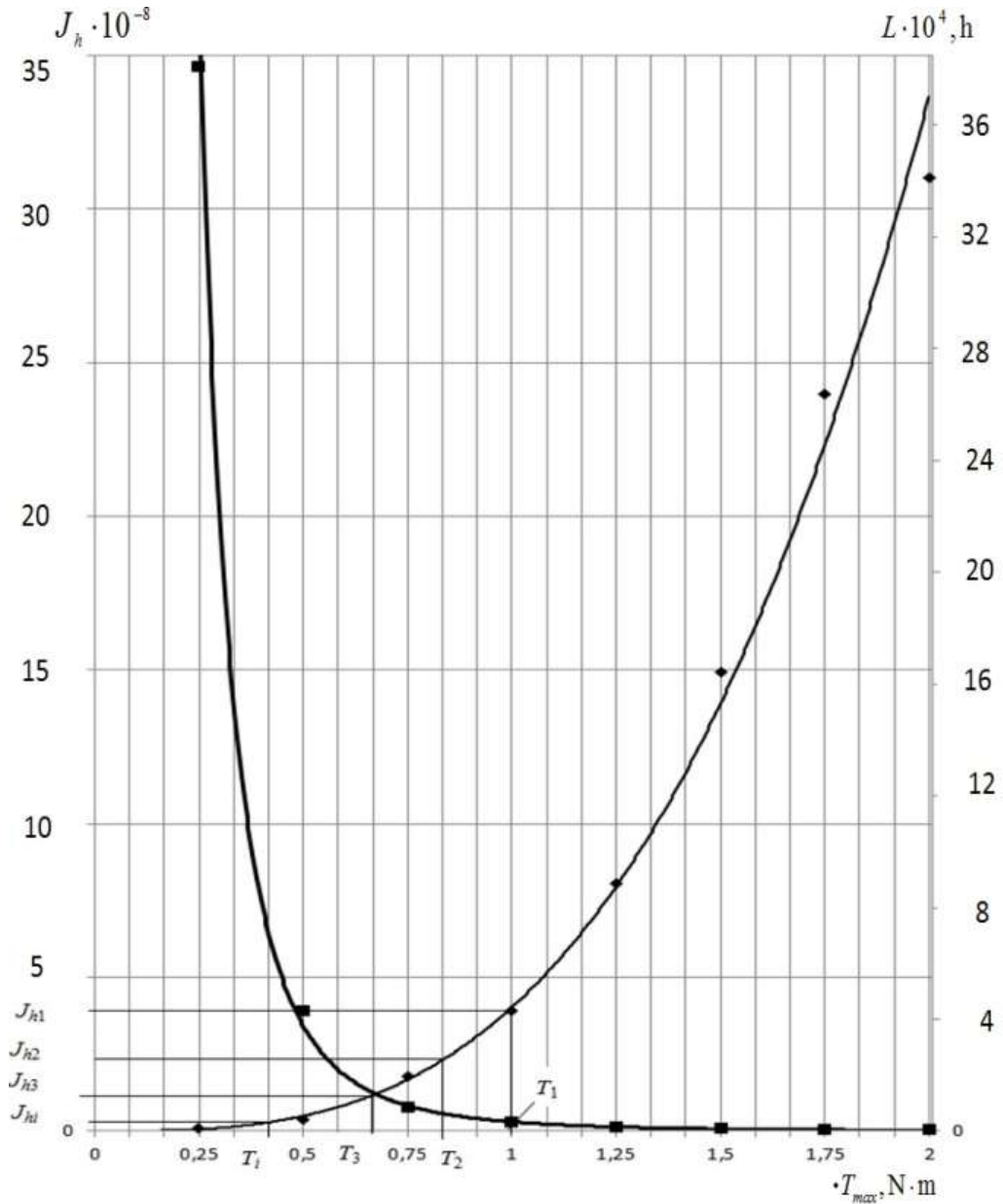


Рис. 2. Порядок определения интенсивности изнашивания в зависимости от значений вращающего момента на выходном валу спироидного редуктора по графикам зависимости интенсивности изнашивания и ресурса спироидного колеса от значений вращающего момента на выходном валу спироидного редуктора

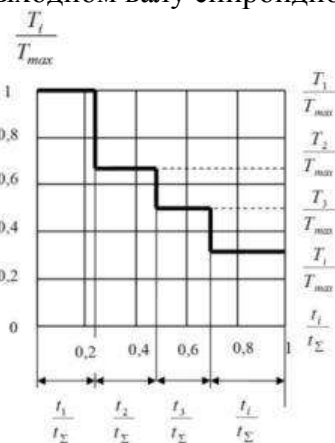


Рис. 3. Установленный график переменного нагружения механизма

Таблица. 1. Основные параметры спироидного редуктора необходимые для расчета ресурса в соответствии с ГОСТ 22850-77

№пп	Название основных геометрических параметров редуктора	Обозначение (Формула расчета)	Размерность
1	Межосевое расстояние	$a_w$	мм
2	Номинальный (максимальный) вращающий момент на выходном валу	$T_2=T_{max}$	Н·мм
3	Номинальная частота вращения входного вала	$n_1$	мин <sup>-1</sup>
4	Номинальная частота вращения выходного вала	$n_2=n_1/u$	мин <sup>-1</sup>
5	Направление вращения вала		
6	Коэффициент полезного действия КПД при непрерывном режиме работы (расчётный)	$\eta$	
7	Передаточное число (от червяка к червячному колесу)	$u_{12}$	
8	Материал червяка	Сталь 40Х	
8.1	Модуль упругости	$E_1$	МПа
8.2	Коэффициент Пуассона	$\mu_1$	
9	Материал спироидного колеса	Бронза Бра9Ж4	
9.1	Модуль упругости	$E_2$	МПа
9.2	Коэффициент Пуассона	$\mu_2$	
10	Шероховатость поверхностей витков червяка	$Ra$	мкм
11	Параметры червяка:		
11.1	коэффициент диаметра червяка	$q$	
11.2	винтовой параметр	$P_y=mz_1/2$	мм
	угол наклона образующей прямой	$\alpha=\gamma$	град
11.3	расчётный модуль витка спироидного червяка вдоль образующей	$m$	мм
11.4	расчётный осевой модуль витка спироидного червяка	$m_x=m$	мм
11.5	число заходов	$z_1$	
11.6	делительный угол подъема линии витков червяка	$\gamma$	град
11.7	вид червяка		
11.8	направление линии витков		
11.9	делительный диаметр червяка	$d_1=qm$	мм
11.10	диаметр вершин витков	$d_{a1}$	мм
11.11	длина нарезанной части	$b_1$	мм
11.12	диаметр впадин	$d_{f1}$	мм
11.13	делительный осевой угол профиля витков:	$\alpha_{xR}$ $\alpha_{xL}$	град град
12	Параметры червячного колеса:		
12.1	внутренний диаметр	$d_{i2}$	мм
12.2	внешний диаметр	$d_{e2}$	мм
12.3	число зубьев колеса	$z_2$	
13	Приведенный радиус кривизны в расчетной точке контакта зубьев колеса		
13.1	Для правого делительного осевого угла профиля витков	$(\rho_{red12})_R$	мм

13.2	Для левого делительного осевого угла профиля витков	$(\rho_{red12})_L$	мм
14	Упругая постоянная соприкасающихся звеньев	$\eta$	мм <sup>2</sup> /Н
15	Окружная скорость в расчетных точках профиля зубьев колеса	$V_{FY2}$	мм/с
16	Скорость скольжения в расчетных точках профиля зубьев колеса	$V_{SY2}$	мм/с
17	Смазывающий материал: трансмиссионное масло CAT TDTO SAE 30 API GL-3 – аналог ТМ-3-9 по ГОСТ 17479.2 – 85		

3. Рассчитывается предельно допустимый износ зубьев спироидного колеса [ $h_2$ ] [17-20]:

$$[h_2] = [1,57 - (\operatorname{tg}\alpha_{xR} + \operatorname{tg}\alpha_{xL})]m_x \quad (1)$$

4. Удельная расчетная сила в зацеплении соответствующая вращающему моменту на выходном валу редуктора  $T_i$  [17-20]:

$$w_{HEi} = \frac{T_i}{T_{max}} w_{HEmax} \quad (2)$$

где  $T_i / T_{max}$ -относительные значения вращающего момента, определяемые из установленного графика переменного нагружения;  $w_{HEmax}$ -удельная расчетная сила в зацеплении соответствующая вращающему моменту на выходном валу редуктора  $T_{max}$ .

5. Определяется значение износа зуба спироидного колеса редуктора за цикл работы механизма, соответствующее значению рабочего вращающего момента на выходном валу редуктора  $T_i$  и продолжительности его действия  $t_i$ , мм [17-20]:

$$h_i = 2,25 J_{hi} \sqrt{w_{HEi} \eta (\rho_{red1,2})_R} \frac{V_{SY2}}{V_{FY2}} n_2 i \left( \frac{t_i}{60} \right), \quad (3)$$

где  $J_{hi}$ -экспериментально определенное значение интенсивности изнашивания материала спироидного колеса соответствующая рабочему вращающему моменту  $T_i$  (определяется по графику рис. 4);  $t_i$ -время действия рабочего вращающего момента  $T_i$  на выходном валу спироидного редуктора механизма за цикл его работы в соответствии с установленным графиком переменного нагружения (рис. 3), с;  $i=1$ -число пар зацепления с рассматриваемым зубчатым колесом.

6. Устанавливается значение циклов работы механизма до предельно допустимого износа зубьев спироидного колеса [ $h_2$ ] [17-20]:

$$N_\Sigma = \frac{[h_2]}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (4)$$

где  $n$ -номер ступени нагружения согласно, установленного графика переменного нагружения.

7. Рассчитывается ресурс спироидного редуктора механизма с установленным графиком переменного нагружения [17-20]:

$$L = \frac{N_\Sigma t_\Sigma}{3600} \quad (5)$$

### Выводы

1. Получена экспериментальная зависимость интенсивности изнашивания  $J_h$  зубьев спироидного колеса (материал бронза БрА9Ж4) от значений вращающего момента на выходном валу спироидного редуктора  $T_i$ , позволяющая определять значения интенсивности изнашивания и рассчитать ресурс спироидного редуктора с установленным графиком переменного нагружения.

2. Приведен алгоритм расчета ресурса спироидного редуктора по износу спироидного колеса на основе экспериментальной зависимости интенсивности изнашивания от нагрузочного момента  $J_h = F(T_i)$ .

3. Значительное количество механизмов и приводов грузоподъемных, строительных и дорожных машин эксплуатируется при переменных режимах нагружения.

#### Список литературы

1. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов/С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев и др.-5-е изд. перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1984.-560 с.

2. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов вузов/Под ред. В.А. Финогенова. -6-е изд., перераб.-М.: Высш. шк., 1998-383 с.

3. Основы расчета и конструирования летательных аппаратов: Учеб. пособие для вузов/Н.А. Алексеева, Л.А. Бонч-Осмоловский, В.В. Волгин и др.; Под ред. В.Н. Кестельмана, Г.И. Рощина—М.: Машиностроение. 1989-456 с.

4. Часовников Л.Д. Передачи зацеплением (зубчатые и червячные). изд. 2-е, перераб. и дополн. М.: «Машиностроение», 1969. 486 с.

5. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение: 1989 - 496 с.

6. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г. Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях, М: Машиностроение, 1986.-224 с.

7. Дроздов Ю.Н., Анферов В.Н. К расчету ресурса спироидных передач по износу // Расчетно – экспериментальные методы оценки трения и износа. М.: Наука, 1980. С.19-22.

8. Детали машин: Учебник для вузов/ Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского.- 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.-520 с.: ил.-(Сер. Механика в техническом университете; Т. 8).

9. Дроздов Ю.Н. К расчету зубчатых передач на износ. М.: Машиноведение, 1969.- №2.-С.84-88.

10. Дроздов Ю.Н. Метод расчета на износ зубчатых передач/Передачи и трансмиссии, №2, 2002. С.-37-43.

11. Генкин М.Д., Кузьмин Н.Ф., Мишарин Ю.А. Вопросы заедания зубчатых колес. М., АН СССР, 1959, 147 с.

12. ООО Механик. Каталог продукции. <http://mechanik.udmnet.ru/>

13. ГОСТ 21354-87 (СТ СЭВ 5744-86). Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчеты на прочность. Дата введения 01.01.89. Издательство стандартов, 1988. 127 с.

14. Машиностроение. Энциклопедия/Ред. совет К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. Т. IV-1//Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др.: Под общ. Ред. Д.Н. Решетова, 1995. 864 с.

15. Patent 2954704 USA. Skew-axis gearing / O.E. Saari. published on 04-Oct-1960

16. Saari O.E. Speed-Reduction Gearing, Patent USA №2696125, 1954

17. Зайцев, А.В. [К вопросу расчета экономического обоснования применения спироидного редуктора в приводе винтового горизонтального конвейера.](#) / Механизация строительства. 2015. №10. С. 42-45.

18. Зайцев, А.В. К расчету зубчатых и червячных передач при переменных режимах нагружения /Анферов В.Н., Зайцев А.В. // Вестник СГУПС. 2016. №4. С. 40-46.

19. Зайцев, А.В. Особенности расчета ресурса спироидных передач в приводах машин при переменных режимах нагружения / Анферов В.Н., Ткачук А.П., Зайцев А.В. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. № 3. Т 2. Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН. 2016. С. 11-17.

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

20. Зайцев, А.В. Расчет ресурса спироидного редуктора в приводе кабелесборочного механизма электропогрузчика // В.Н.Анферов, А.П.Ткачук, А.В.Зайцев / Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. Том 20. №2. Апрель-июнь. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2017. С. 24-28.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Ю.А. Замыслов, студент гр.4НМ81

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.7(999)431-92-58

E-mail: [zamylov64@gmail.com](mailto:zamylov64@gmail.com)

В настоящее время, актуальными техническими средствами для разрушения горного массива, является импульсные устройства, в основном ударного действия. Они используются при бурении скважин в прочных горных породах и грунтах, для отделения полезного ископаемого от массива и разрешения негабаритных частей массива, для проведения специальных строительных работ по бестраншейной прокладке подземных коммуникаций, усилению оснований и фундаментов, а также для разрушения старого дорожного полотна и т.д. [1,2,3]

Увеличение в перспективе масштабов применения машин ударного действия, особенно для сооружения протяжных скважин в грунте и горных породах, диктует настоятельную необходимость их дальнейшего совершенствования. В настоящее время существуют различные виды ударных механизмов, которые используются для различных видов работ, наиболее эффективными являются механизмы, у которых в ударном узле расположен упругий промежуточный элемент. Несмотря на большое количество работ по исследованию влияния ударников на различные материалы [3,4], изучение оптимально подходящего промежуточного элемента для предотвращения остаточных колебаний остается актуальной темой

В данной статье представлено моделирование конструкции ударного узла с упругим промежуточным элементом.

На рисунке 1 приведен эскиз ударного механизма, который состоит из поршня бойка с крышкой 1, промежуточного упругого элемента 2, промежуточного бойка 3, наголовника 4 и корпуса 5. Основной особенностью данной конструкции является упругий элемент 2 (см. рис.1), благодаря которому время действия поршня бойка 1 на наголовник 2 увеличивается, увеличивая время контакта между наголовником 2 и промежуточным бойком 3.

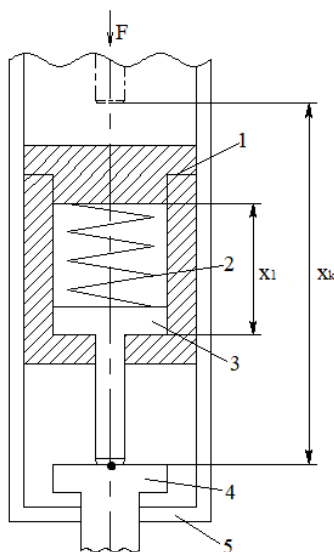




Рис.1. Эскиз формирователя с упругим элементом: 1-поршень боёк;2-промежуточный упругий элемент (пружина); 3-промежуточный боёк; 4-наголовник; 5- корпус,  $x_1$ -от начальной точки до точки контакта,  $x_k$ -расстояние до точки контакта

Цикл работы данного механизма, можно разделить на 3 этапа: разгон, удар, возврат. Разгон осуществляется различными приводами (гидравлический, пневматический, свободное падение и т.д.), и характеризуется силой  $F_0$  (рис. 2). Под действием этой силы, поршень-боёк 1 массой  $m_1$  и промежуточный боёк 2 массой  $m_2$  разгоняются и движутся с одинаковой скоростью. Вовремя движения происходит вязкое трение  $F_{h1}$  между корпусом 5 и поверхностью поршня-бойка 1 (см. рис.2.). Движение поршня-бойка можно представить в виде уравнения:

$$F_0 = F_{h1} + F_m \quad (1).$$

В свою очередь, потери  $F_{h1}$  характеризуются коэффициентом вязкого трения  $h_1$ , который зависит от геометрических отклонений (соосности, цилиндричности, конусности, площади контакта), величины зазора, шероховатости поверхности и используемой смазки. И рассчитывается по формуле [3]:

$$h_1 = v \cdot \rho \cdot S_1 / \delta_1 \quad (2),$$

Где  $v$  — кинематический коэффициент вязкости;  $\rho$  — плотность жидкости;  $S_1$  — площадь контакта поршня-бойка и корпуса;  $\delta_1$  — зазор между поршнем-бойком и корпусом.

Инерция определяется суммой масс  $m_1$  и  $m_2$  и таким образом уравнение (1) будет иметь вид:

$$F_0 = h_1 \cdot V_1 + (m_1 + m_2) \cdot a_1 \quad (3).$$

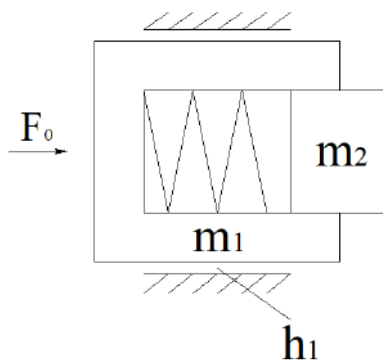


Рис.2. Расчетная схема ударного механизма с промежуточным упругим элементом при разгоне

Во время разгона поршень-боёк 1 и промежуточный боёк 2 движутся с одинаковой скоростью  $V_1$  и ускорением  $a_1$ , до момента, когда промежуточный боёк 2 сталкивается с наголовником 4 в координате  $x_{конт.}$  (рис. 1).

Удар наступает в тот момент, когда промежуточный боек 2 массой  $m_2$  останавливается при сталкивается с наголовником 4, а поршень-боёк  $m_1$  продолжает двигаться (см. рис.3), соответственно движущая масса будет равняться  $m_1$ , а трение в этом случае увеличивается, так как возникает дополнительное трение  $F_{h2}$  между поршнем-бойком 1 и промежуточным бойком 2, которое так же характеризуется коэффициентом  $h_2$  и определяется по формуле:

$$h_2 = v \cdot \rho \cdot S_2 / \delta_2 \quad (4),$$

где  $S_2$  — площадь контакта поршня-бойка и промежуточного бойка;  $\delta_2$  — зазор между поршнем-бойком и промежуточным бойком.

В этот момент происходит сжатие пружины 3 и появляется  $F_c$ - сила упругости, которая определяется жесткостью  $c$ , умноженной на перемещение поршня  $x_1$  после столкновения ( $x_{конт.}$ ). Таким образом наше уравнение будет выглядеть:

$$F_0 = (h_1 + h_2) * V_1 + c * (x_1 - x_{конт.}) + m_1 * a_1 \quad (5).$$

Удар действует с момента контакта поршня-бойка и наголовника, пружина сжимается, поршень-боек останавливается и под действием силы  $F_c$  поршень-боек меняет направление, при этом контакт поршня-бойка и наголовника сохраняется до полного восстановления упругого элемента. Таким образом удар действует, когда перемещение поршня-бойка в интервале от  $x_{конт.}$  до  $x_{пруж.}$ .

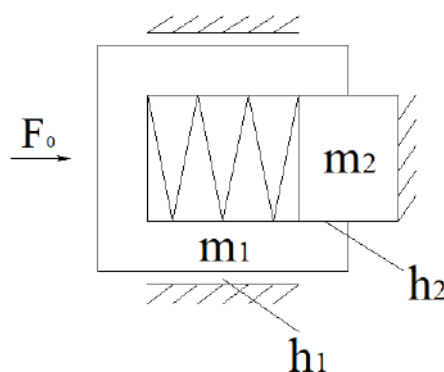


Рис.3. Момент удара поршня-бойка и промежуточного бойка

Таким образом, из выше сказанного получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} F_0 = h_1 * V_1 + (m_1 + m_2) * a_1, & 0 < x_{конт.} < x_1, V_1 > 0 \\ F_0 = (h_1 + h_2) * V_1 + c * (x_1 - x_{конт.}) + m_1 * a_1, & x_{конт.} < x_1 < (x_{конт.} + x_{пруж.}) \end{cases} \quad (6).$$

В ходе проделанной работы нами представлена система уравнений, описывающая динамику ударного механизма с учетом упругого элемента. Использование упругого элемента позволяет увеличить время контакта инструмента с обрабатываемой средой, тем самым увеличить эффективность ударного механизма.

#### Список литературы:

1. Евсеев В.Д. Особенности разрушения горных пород при бурении нефтяных и газовых скважин//НИИ ТПУ-Томск-2002.-18с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/6224883/>.
2. Родыгин М.П. Модель пневматической установки для ударных испытаний. //Новый университет- 2014. –С. 76
3. Дерюшева В.Н. Модели пневмогидравлического ударного узла с учетом свойств формирователя импульса и нагрузки. // НИИ ТПУ- Томск -2009. – 154с.

## РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

*Клишин В.И., член-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор*  
*Герике Б.Л., главный научный сотрудник, д-р техн. наук, профессор*  
*Мокрушев А.А., аспирант*  
*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН*  
*650065, Кемерово, проспект Ленинградский, 10*  
*тел. +7-903-907-33-02*  
*E-mail: gbl\_42@mail.ru*

*Аннотация:* Рассмотрены методы функциональной диагностики технического состояния подшипников качения, показаны их достоинства и недостатки. Построена модель формирования ударных импульсов при возникновении дефектов в подшипниках качения. Показана возможность применения вейвлет-преобразований для распознавания этих дефектов и определения технического состояния опорных узлов горных машин.

*Ключевые слова:* Горные машины и оборудование, опорные узлы, подшипники качения, техническая диагностика, цифровые технологии, обслуживание и ремонт.

*Введение.* В настоящее время на промышленных предприятиях в силу целого ряда объективных причин пристальное внимание уделяется вопросам повышения надежности, эффективности эксплуатации и ремонта технологического оборудования. Особенно остро эти вопросы стоят на опасных производственных объектах, к которым, безусловно, относятся объекты угольной и горнорудной промышленности. Это связано с тем, что изменяются подходы к эксплуатации горношахтного и горнотранспортного оборудования, усложняется сама техника и технологические процессы её эксплуатации, ужесточаются требования промышленной и экологической безопасности. Большое количество разнообразных агрегатов, входящих в это оборудование, имеют скрытый характер зарождения и развития неисправностей, накопленных за долгие годы его эксплуатации, что нередко является причинами аварийных ситуаций, которые могут сопровождаться значительным экономическим и социальным ущербом, а также загрязнением окружающей среды. Ряд аварий и техногенных катастроф различного масштаба последних лет [1] заставляют по-новому переосмысливать требования к достоверности оценки текущего состояния оборудования и определению его остаточного ресурса с учетом последних достижений науки в области технической диагностики [2, 3].

С другой стороны, большинство предприятий в условиях экономии средств и сокращения бюджета сталкивается с суровой необходимостью уменьшения затрат, в том числе на модернизацию производства, техническое обслуживание и ремонт основного и вспомогательного оборудования. Вместе с тем большая доля эксплуатируемого оборудования имеет общую изношенность узлов и агрегатов, часть которых в значительной степени уже исчерпала остаточный ресурс [4]. В данных условиях особенно важно, чтобы решения о минимизации затрат принимались без ущерба надежности эксплуатации оборудования. Это становится возможным только при наличии достоверной информации о текущем техническом состоянии, полученной с использованием различных методов технической диагностики [5-9]. На любом современном промышленном предприятии самое пристальное внимание уделяется вопросам повышения рентабельности производства за счет эффективного управления производственными активами с использованием оптимальной стратегии технического обслуживания и ремонта. Опыт отечественных и зарубежных промышленных

предприятий показывает, что оправданное сокращение затрат на ТОиР без снижения надежности эксплуатации оборудования достигается только при помощи комплексного внедрения современных методов диагностирования.

В настоящее время на угольных предприятиях эксплуатируется значительное количество ленточных конвейеров [10], от работоспособного состояния которых зависят показатели работы всей угольной промышленности Кузбасса. В ближайшее время ожидается увеличение энерговооруженности и технической оснащенности ленточных конвейеров, производительности и длины транспортирования горной массы, широко внедряется частотно-регулируемый электропривод [11, 12].

Повышающиеся объемы добычи угля подземным способом требуют создания надежных транспортных систем – основная задача, стоящая перед производителями поточных линий шахтных ленточных конвейеров. Другой, не менее важной задачей, является сокращение затрат на их техническое обслуживание и ремонт [13]. Для обеспечения безотказности работы ленточного конвейера в течение как можно более продолжительного времени необходимо определить причины выхода из строя различных составляющих элементов [14], и в первую очередь зубчатых зацеплений и подшипниковых узлов, долговечность которых определяется механическим износом трущихся поверхностей.

*Постановка задачи.* Анализ простоев, вызванных отказом редукторов магистральных и забойных конвейеров [15], показывает, что их доля колеблется от 7% до 18%, при этом среднее время восстановления работоспособного состояния составляет от 24 до 48 часов, что свидетельствует об актуальности исследований.

Для контроля технического состояния механического оборудования хорошо зарекомендовал себя метод вибрационного контроля [5, 16, 17]. Вибрационная диагностика применяется:

- для контроля текущего состояния оборудования;
- для разделение множества возможных технических состояний агрегата на два подмножества – исправных и неисправных;
- для постановка диагноза, состоящего в определении характера и локализации одного или группы дефектов, соответствующих вибрационному состоянию агрегата;
- для обнаружения возможного дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени;
- для оценки остаточного ресурса;
- для определения сроков и объемов ремонтных работ;
- для снижения риска возникновения аварийной ситуации.

Как показывает опыт контроля технического состояния горного оборудования, для обнаружения возможных износных отказов наиболее эффективен (до 77%) контроль по параметрам вибрации [16], а с привлечением других методов функциональной диагностики – спектрального анализа масла [17] и тепловизионного контроля [18], достоверность распознавания причин возникновения дефекта возрастает до 95%.

Полный анализ технического состояния редуктора после сборки и обкатки на испытательном стенде (рисунок 1) позволит не только выявить и локализовать дефекты изготовления, но и исключить возможность поставки потребителю некачественной продукции. Помимо этого полученные данные могут лечь в основу разработки системы автоматизированного контроля качества.

Анализ методов вибрационного контроля позволяет сделать вывод, что для автоматизации контроля выпускаемой продукции предназначенной для угольной отрасли целесообразно применять метод опорных масок. Этот метод основан на том, что дефекты, которые закладываются в результате изготовления и сборочных работ, генерируют

вибрацию в определенных частотных полосах с определенным соотношением величин контролируемых параметров.

Метод опорных масок дает возможность устанавливать ширину частотной полосы, её положение и значения критериев оценки, которые сравниваются с текущими значениями в произвольном порядке. Анализируя изменения контролируемого параметра в частотной полосе (число полос может изменяться от 6 до 30), осуществляется оценка и прогноз состояния оборудования [19].



Рис.1. Общий вид испытательного стенда на ОАО «АНЖЕРОМАШ»

Частотные диапазоны спектральной маски (ширина полос) обычно принимают значения исходя из следующих условий [5, 20]:

- «высокоэнергетические» составляющие спектра, сопровождающие дисбаланс или расцентровку –  $(0,5...1,5) \times f_r$  и  $(1,5...2,5) \times f_r$ ;
  - «низкоэнергетические» составляющие колебаний, сопровождающие дефекты подшипника качения –  $(7,5...15,5) \times f_r$ ;
  - $(2,5...10,5) \times f_r$  — общее нарушение жесткости системы;
  - первая среднечастотная полоса  $(3... 15) \times f_r$ ;
  - вторая среднечастотная полоса  $(15...40) \times f_r$ ;
  - первая высокочастотная полоса  $40 \times f_r...20$  кГц;
  - $(n \pm 1) \times f_r$  – для повреждения элементов соединительных муфт,
- здесь  $f_r$  – частота вращения приводного двигателя.

Собранная таким образом информация по всем видам выпускаемых редукторов была статистически обобщена для каждого типа редукторов в виде значений предельно допустимых уровней среднеквадратической виброскорости [ $V_{СКЗ}$ ] и спектральных опорных масок для каждой контрольной точки в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Для примера на рис. 2 приведены результаты обкатки редуктора РКЦ-400 в виде энергетического спектра, зарегистрированного в осевом направлении в 4 контрольной точке.

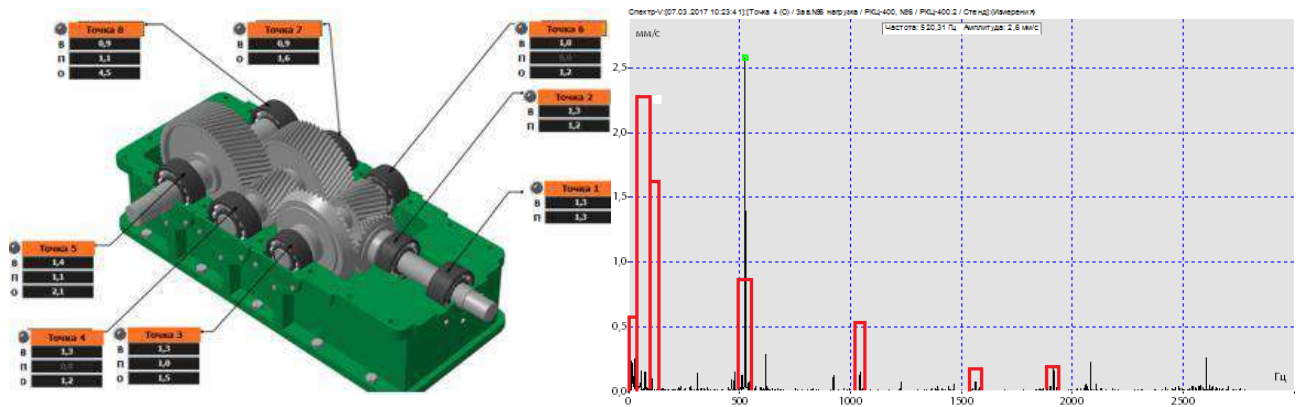


Рис.2. Форма представления результатов измерения

Применение современных технологий контроля технического состояния оборудования позволяет осуществлять индивидуальный подход к каждому выпускаемому агрегату при оценке его технического состояния и устанавливает пороговые значения исходного, работоспособного и предельного состояния.

Основные проблемы механических неисправностей горношахтного оборудования (дисбаланс, расцентровка, дефекты зубчатых передач и т.п.) приводят, как правило, к возникновению проблем функционирования опорных элементов во всевозможных приводных, преобразующих и исполнительных механизмах – подшипников качения.

В настоящее время наиболее полное представление о возможных дефектах подшипников качения приведено в [21, 22], которое, по мнению авторов [21], не является исчерпывающим, а содержит только основные встречающиеся повреждения, причины их вызывающие, и локализации повреждений.

Существующие методы анализа технического состояния подшипников качения [2, 19, 23] в очень редких случаях позволяют диагностировать с достаточной точностью их неисправность, поскольку использование прямого спектрального анализа виброакустического сигнала для распознавания дефектов подшипников качения затруднено из-за малых амплитуд этих частотных составляющих, теряющихся на фоне «коврового шума».

Моделирование ударных импульсов. Для создания более чувствительного метода диагностики дефектов необходимо более глубокое изучение динамических процессов, происходящих в подшипниках качения, и их моделирование.

Рассмотрим процесс возникновения ударного импульса, который можно описать следующей моделью:

$$x(t) = a_0 \times \lambda^{-\beta t} \times \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где  $x$  – смещение;  $a_0$  – начальная амплитуда;  $\omega$  – частота затухающих колебаний, связанная с частотой собственных колебаний  $\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$ ;  $\beta = rt/2m$  – скорость затухания колебаний;  $r$  – коэффициент сопротивления;  $m$  – масса колеблющейся системы.

Под частотой собственных колебаний системы понимается частота, с которой колебалась бы система при отсутствии сил сопротивления [24]. В этой модели рассматривается цельная однородная система. На практике этот процесс выглядит сложнее, так как любая машина состоит из нескольких частей (статор, ротор, станина, корпус и пр.), обладающих подвижностью относительно друг друга. Энергия, поступившая от удара, распределяется между этими узлами, заставляя их колебаться с различными, характерными для них, собственными частотами.

На рис. 3а показана форма сигнала виброускорения, зафиксированная на неработающей экспериментальной установке, по которой осуществлялись несильные



периодические удары металлическим молотком. Даже в самом исходном сигнале заметно присутствие низко- и высокочастотных составляющих. Наиболее различимы частотные компоненты при преобразовании фурье-виброакустического сигнала (рис. 3б), которое приводит к возникновению ложных частотных компонент, не присущих исходному сигналу.

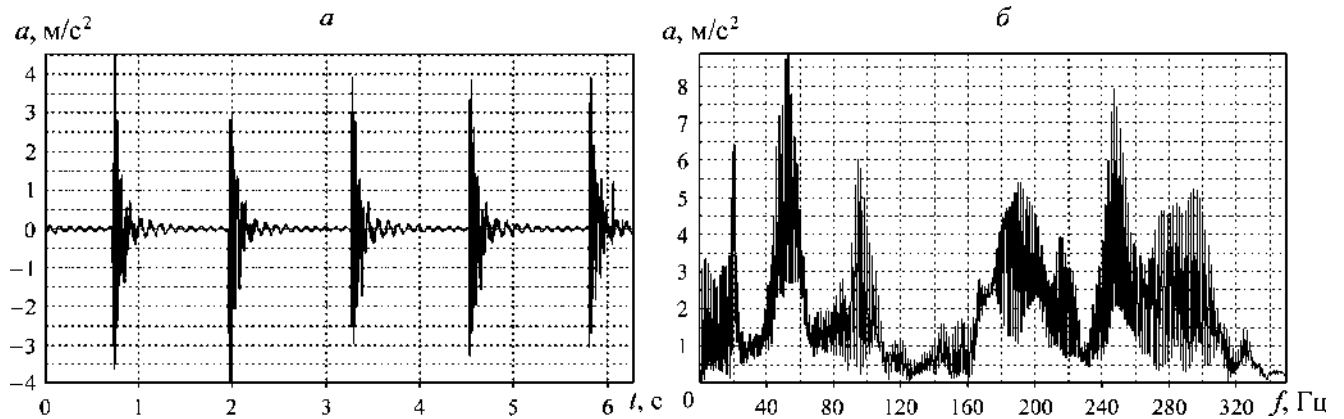


Рис.3. Сигнал виброускорения (а) и его спектр (б)

Для каждой частоты характерны различные скорости затухания. На рис. 4 показано изменение амплитуд различных частотных составляющих центрального ударного импульса во времени, расположенного в середине временной развертки. Приведенные срезы разделены равными временными интервалами. Здесь можно провести аналогию с электромагнитными волнами, которые в зависимости от длины (частоты) имеют большие или, соответственно, меньшие свойства поглощаться (рассеиваться). С другой стороны, это связано с массой конкретного узла, создающего данную частоту, и присутствием каких-либо поглотителей энергии (например, амортизаторов).

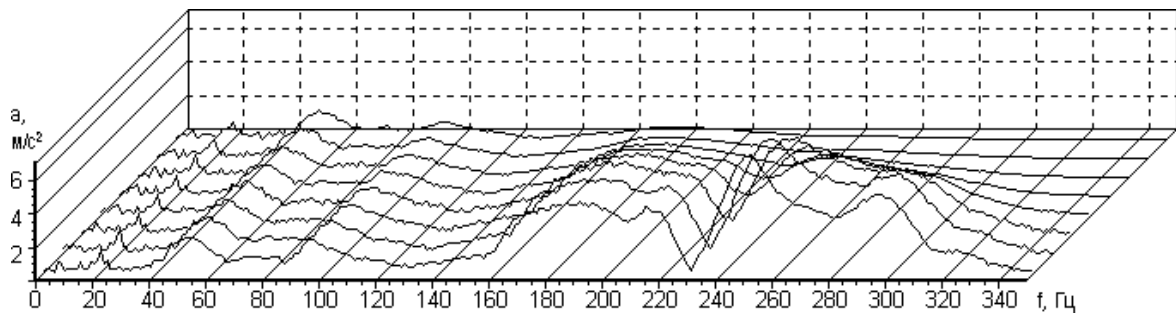


Рис.4. Эволюция частот импульса во времени

Различие в амплитуде ударного импульса в начальный момент времени обусловлено геометрией механизма, т. е. расстоянием между источником импульса и конкретным узлом, наличием препятствий для распространения виброакустического сигнала. Предполагая линейность изучаемой системы, реальный импульс представим в виде суммы модельных импульсов с различными частотами и скоростями затухания:

$$I(t) = \sum_{i=1}^N a_i \times \lambda^{-\beta_i t} \times \cos(\omega_i t + \varphi_i). \quad (2)$$

Для преобразования исходного сигнала к виду (1) оптимально его разложение по базису  $x_i(t)$ , но система  $x_i(t)$  неортогональна. Следовательно, необходимо построить ортонормированную систему  $\{[e_1(t), e_2(t)], \dots, [e_i(t), e_j(t)], \{[e_i(t), e_j(t)] = 0, \forall i \neq j,$

$\forall i \in 1 \dots N \} \{ [e_1(t)], [e_2(t)], \dots, [e_n(t)]; [e_i(t), e_j(t)] = 0; \forall i \neq j; \forall i \in 1 \dots N \}$  по аналогии с рядами Фурье, причем с минимальной коррекцией исходной системы  $x_i(t)$ .

В 70-х годах XX в. появились вейвлет-методы. На вейвлет-функцию  $W_\Psi$  накладываются два ограничения: она должна быть достаточно локализована, т. е. обращаться в нуль при удалении от начала координат; интеграл от функции на  $(-\infty; +\infty)$  должен равняться нулю. Вейвлет-преобразование выглядит следующим образом:

$$W_\Psi f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_\Psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{b-x}{a}\right) f(x) dx. \quad (3)$$

Здесь  $a$  – масштаб;  $b$  – сдвиг;  $C_\Psi = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} (|\Psi(\omega)|^2 / |\omega|) d\omega < \infty$  – нормирующий коэффициент,  $\Psi(\omega)$  – Фурье-образ вейвлета  $W_\Psi$ . Свобода в выборе базисных функций  $\Psi[(b-x)/a]$  позволила ввести многие типы вейвлетов (Хаара, Добеши, Гаусса, Морле и др.).

Вейвлет-преобразование представляет собой сигнал в виде одинаковых по форме коротких всплесков, которые можно сдвигать и растягивать по временной оси. Это принципиальное отличие от бесконечных волн преобразования Фурье [25, 26].

Помимо непрерывного вейвлет-преобразования, существует дискретное преобразование, в котором происходит процесс фильтрации. Благодаря этому возникают понятия аппроксимации (высокомасштабированные высокочастотные компоненты) и детали (низкомасштабированные). В итоге получается, что первоначальный сигнал разбивается на два, дополняющих друг друга, что дает в 2 раза больше информации о нем. По сравнению с разложением сигналов на ряды Фурье, вейвлеты обладают способностью представлять локальные особенности сигналов с большей точностью и решать проблемы выявления дефектов оборудования комплексным способом.

Апробация модели. Вейвлет-функция обладает необходимыми свойствами для решения поставленной выше задачи. Например, эволюция частот импульса во времени (рис. 5) построена при помощи модифицированного вейвлет преобразования Хаара. Как уже отмечалось, большим преимуществом этого метода является его локальность, то есть появляется возможность проследить динамику изменения амплитуд частотных компонент.

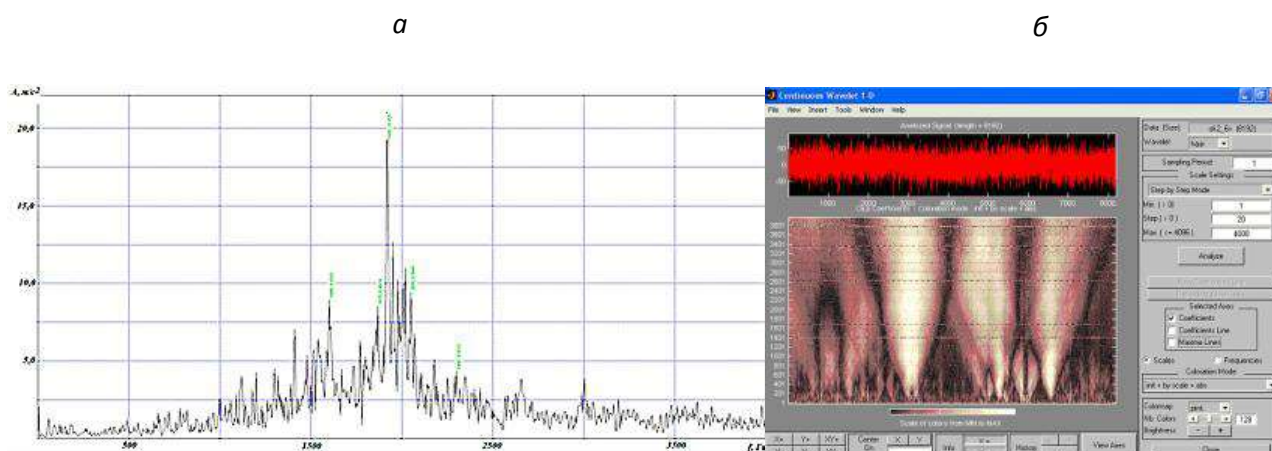


Рис.5. Фурье преобразование (а) и вейвлет преобразование Хаара (б) виброакустического сигнала развитого дефекта подшипника качения.



На рис. 5 приведены результаты обработки виброакустического сигнала, измеренного в 5 контрольной точке, представленных в виде энергетического спектра (рис. 5а) и вейвлета Хаара (рис. 5б), из анализа которых следует, что виброактивность в 5 контрольной точке выше допустимых норм.



Рис.6. Дефект двухрядного подшипника:

а) износ тел качения подшипника качения; б) износ беговой дорожки подшипника качения

**Выводы.** Предложенный подход к нормированию параметров механических колебаний может быть использован на практике, при разработке стандарта предприятия по нормированию вибрации выпускаемой продукции для включения в паспорт изделия.

Разработка большого числа спектральных масок для широкого типового ряда горной техники является одним из условий выпуска заводами горного машиностроения качественной продукции и осуществления перехода на новые формы технического обслуживания и ремонта горных машин.

С использованием прогностической модели на основе статистических результатов вибродиагностики, появляется возможность в достаточной мере точно оценить исследуемую неисправность, а также спрогнозировать остаточный ресурс узла или агрегата и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупреждение возникновения аварийных отказов. В итоге предложенное решение позволит минимизировать издержки, связанные с внезапным выходом из строя подшипников качения, оптимизировать логистику и складское хозяйство. Будут созданы все условия для перехода к качественно новой системе управления техническим обслуживанием горношахтного оборудования.

### Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации».
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т./Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: Кн. 2: Вибродиагностика/М.: Машиностроение, 2005. 829с.
3. Сушко А.Е., Грибанов В.А. Проблемы оценки технического состояния динамического оборудования опасных производственных объектов//Безопасность труда в промышленности. 2011. №10. С. 58-65.
4. Ковалев В.А., Хорешок А.А., Герике Б.Л. Диагностика технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия. // Уголь, №9. – 2015. – С. 42-47.

5. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. – (Dekker mechanical engineering).
6. Основы эксплуатации горных машин и оборудования: Учеб. пособие./ А.В. Гилёв, В.Т. Чесноков, Н.Б. Лаврова и др.; под общ. ред. А.В. Гилёва. – Красноярск. Сибирский федеральный ун-т, 2011. – 276 с.
7. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга: Учебное пособие. // Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2014. – 329 с.
8. Кравченко В.М., Сидоров В.А., Седуш В.Я. Техническое диагностирование механического оборудования: Учебник. // Донецк. Юго-Восток, 2009. – 459 с.
9. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб. пособие./ Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе и др.// М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
10. Гаммершмидт А.А. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса // Уголь. – 2015. – № 5. – С. 14 – 15.
11. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Транспортные машины. – М.: Горная книга, 2010. – 588 с.
12. Герике Б.Л., Сушко А.Е., Герике П.Б. Внедрение цифровых технологий в области диагностики, обслуживания и ремонта горных машин и оборудования // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 3. – С. 19 – 28.
13. Kovalev V., Khoreshok A., Gerike B. and Meshkov A. One estimation of the technical condition of the selective headers, Regarding one estimation of the technical condition of the selective headers, The Conferece was funded by RFBR according to the research project No. 16-05-20506, 2016. – P. 291–296.
14. Захаров А.Ю., Ширямов Д.В. Определение критической величины сопротивления вращению конвейерных роликов // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 1. – С.3–8.
15. Герике Б.Л., Дрозденко Ю.В., Герике П.Б., Кузин Е.Г., Мокрушев А.А. Распознавание дефектов подшипников качения в редукторах горных машин по параметрам вибрационного сигнала // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 5. – С. 43–48.
16. Краковский Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. – Новосибирск: Наука, 2005. – 200 с.
17. Капранов Б.И., Короткова И.А. Спектральный анализ в неразрушающем контроле. – Томск: ТПУ, 2010. – 122 с.
18. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под ред. В.В. Клюева. Т.5. В.П. Вавилов. Тепловой контроль. – М.: Машиностроение, 2005. – С. 9–361.
19. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996. – 276 с.
20. Профилактическое обслуживание оборудования с применением виброанализа // CSI. – 1990. – 252 с.
21. Диагностика неполадок подшипников // NSK Motion & Control. – 2009. – 42 p.
22. Повреждения подшипников качения и их причины // SKF AB. – 2002. – 46 p.
23. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., and Renard E. Experimental analysis of the dynamic characteristics of a hybrid aerostatic bearing, J. Engineering for Gas Turbines and Power, 2012, Vol. 134, # 18.
24. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физ. наук. – 1996. – Т. 166. – №11. – С. 1145–1170.
25. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. – СПб.: СПбГУ, 2001. – 58 с.
26. Дьяконов В.П. МАТЛАБ: полный самоучитель. – СПб.: ДМК пресс, 2012. – 770 с.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ПИЛОРАМЫ

*Д.А. Колпашиникова, студент гр. 0781*

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

Пиление полосовыми (рамными) пилами на лесопильных рамах предназначено для продольного деления бревен на брусья и доски и брусьев на доски с заданными размерами и шероховатостью.

Используемые сейчас лесопильные рамы были сконструированы еще в Советском Союзе. Плановая экономика СССР требовала повышения валовых показателей производства продукции любой ценой. Для решения такой задачи станкостроители создали высокопроизводительные двухэтажные лесопильные рамы, на базе которых строились двух-, четырех-, шести- и восьми рамные лесопильные цехи. Производительность двух рамного лесопильного потока при трехсменной работе достигала 100 тыс. м<sup>3</sup> круглого леса в год, а восьми рамного цеха – до 1 млн. м<sup>3</sup> круглого леса в год.

Принцип работы лесопильной рамы показан на рис. 1. Постав пил (комплект из нескольких пил) закреплен в пильной рамке 3, которая установлена в вертикальных направляющих станины и шарнирно соединена с шатуном 2 и кривошипом 1 коленчатого вала кривошипно-шатунного механизма. Последний с помощью ременной передачи связан с приводом 5.

При работе пильная рамка с пилами совершает возвратно-поступательное движение. Бревно 4 надвигается на пила вальцовым механизмом подачи и распиливается сразу либо на доски, либо на доски и брусья в зависимости от схемы установки пил. В лесопильной раме движение пил вниз считается рабочим, когда происходит процесс пиления, а движение пил вверх считается холостым, когда пильная рамка с пилами возвращается в исходное положение.

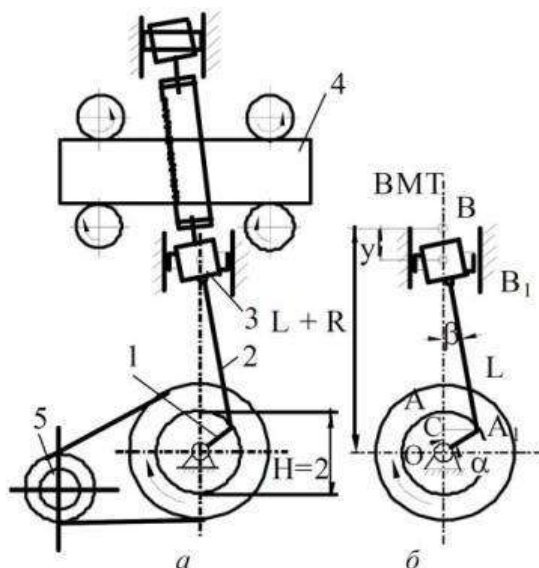


Рис. 6. Схема пилорамы

Главное движение в лесопильной раме — возвратно-поступательное перемещение пильной рамки с пилами, которое она получает через шатуны от кривошипных пальцев маховиков коренного вала. Один из маховиков коренного вала является приводным

шківом, який приводить коренний вал до вращення за допомогою ременної передачі від електродвигателя.



Рис. 7. Общий вид лесопильной рамы

К преимуществам рамной распиловки бревен и брусьев можно отнести жесткое крепление до 12...20 рамных пил, обеспечивающее необходимую точность размеров и формы пиломатериалов, достаточно тонкий пропилен (около 3,5 мм), возможность организации поточной двухрядной распиловки. Кроме того, лесопильные рамы просты в обслуживании, надежны в эксплуатации и обеспечивают достижение высокого полезного выхода пиломатериалов. На российских лесопильных предприятиях лесопильные рамы привычны и широко распространены, для работы на них и обслуживания подготовлен огромный контингент специалистов, налажено производство запасных частей для выполнения ремонтов. В связи с этим можно утверждать, что на российских предприятиях лесопильные рамы будут использоваться еще долго.

У лесопильных рам можно отметить ряд достоинств и недостатков. Конструктивный основной недостаток лесопильных рам заключается в использовании кривошипно-шатунно-ползунного механизма в механизме главного движения. В результате этого пильная рамка с пилами движется в режиме разгона-торможения, что вызывает высокий уровень вибраций частотой 5-7 Гц, нагрузку на фундамент, повышенный износ механизмов. К недостаткам относят также низкую и неравномерную скорость главного движения (5-7 м/с), ограниченную динамическими возможностями кривошипно-шатунного механизма, высокую энергоемкость механизма главного движения. На лесопильных рамах исключена возможность индивидуальной распиловки бревен, в результате чего ограничены возможности повышения полезного выхода пиломатериалов.

#### Список литературы:

1. Кожемяко Н.П., Кожухов Н.И., Состояние развития лесопильного производства в России // Вестник московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2009. - № 3. - С. 168-172.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. - 640 с.
3. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей

всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

*А.А. Карымсаков студент гр. 5А81*

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

E-mail: [aak239@tpu.ru](mailto:aak239@tpu.ru)

Назначение поперечно-строгальных станков – это обработка резцом плоской и фасонной поверхности (горизонтальной, вертикальной, наклонной). Поперечно-строгальный станок используют в инструментальных и машиностроительных цехах, для индивидуального и мелкосерийного производства. Поперечно-строгальные станки классифицируют по типу главного привода и бывают кулисными, шестеренчатыми, гидравлическими, кривошипными.

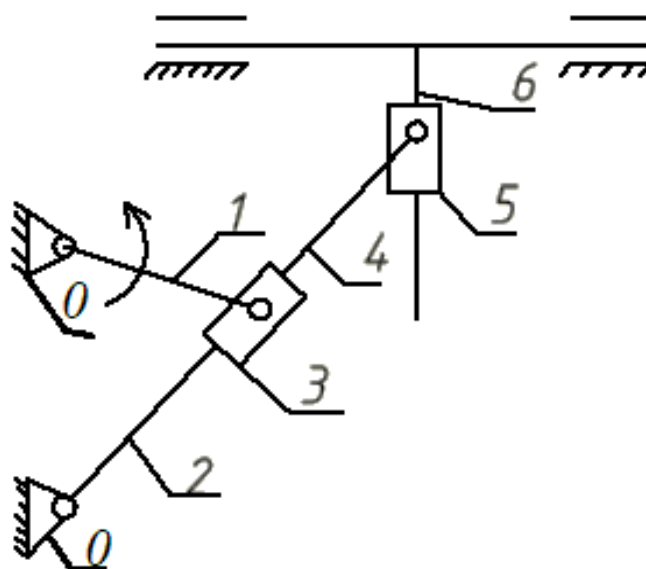


Рис.1. Кинематическая схема поперечно-строгального станка

На рисунке 1 изображена кинематическая схема поперечно-строгального станка с кулисным механизмом привода. Механизм состоит из стоек 0, кривошипа 1, шатунов 4,6, коромысла-кулисы 2, и кулисы 3, 5.

Станок работает от электродвигателя, который передает вращение шестискоростной коробки скоростей на вал, оборудованный скользящей шпанкой. Шпанка держит тройной блок шестерен, гарантирующий валу режим из трех скоростей. Следовательно, во время движения блока вдоль оси вала происходит поочередный захват шестерен с шестернями, закрепленными на шпонке на валу. [1]

Работа поперечно-строгального станка (рис.2.) происходит следующим образом. Резец совершает горизонтальное возвратно-поступательное движение со скоростями  $V_{р.х}$  (рабочего хода) и  $V_{х.х}$  (холостого хода). Движение это характеризуется числом двойных ходов в минуту ползуна. Один двойной ход состоит из рабочего хода, при котором резец

срезает слой металла сечением  $f = ts = ab \text{ мм}^2$ , и холостого хода, при котором резец возвращается в исходное положение. [2]



Рис.2. Поперечно-строгальный станок

Для осуществления среза нового слоя металла при новом рабочем ходе производится подача. Перемещение резца является главным движением для поперечно-строгального станка, а движением подачи является перемещение заготовки в поперечном направлении.

Кулисный механизм служит для преобразования вращательного движения от коробки в прямолинейное возвратно-поступательное движение ползуна. Кулиса качается и сообщает ползуну не равномерную скорость хода. Скорость ползуна изменяется от нуля до максимума, в среднем положении кулисы ползун достигает максимальную скорость хода, а при крайних положениях кулисы скорость равна нулю. Так как холостой ход ползуна имеет значительно большую скорость чем рабочий, это обеспечивает экономию времени, на непроизводительные холостые ходы станка. Коробка скоростей имеет ступени чисел двойных ходов с большими перепадами. Все это затрудняет подбор оптимального режима резанья. Кулисный механизм дает возможность устанавливать длину хода ползуна в зависимости от длины заготовки, но сам механизм тем самым ограничивает длину хода.

### Список литературы:

1. Обработка материалов резанием учебное пособие: в 2 ч.: / И. Н. Шепелева [и др.]; Сибирский государственный технологический университет (СибГТУ) . — Красноярск : Изд-во СибГТУ , 2012 Ч. 2 . — 2012. — 212 с.:
2. Специальные, специализированные и агрегатные металлорежущие станки : каталог / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности; под ред. Н. А. Трофимовой. — Москва: НИИМАШ, 1983. — 64 с.:
3. Моисеенко К. А. Анализ работы парового насоса // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25-27 Января 2019. - Новокузнецк: НИЦ МашиноСтроение, 2019 - С. 47-48



## АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА КОМПРЕССОРА

*С.В. Котляр, студент гр. 5А81*

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

Компрессор — энергетическая машина или устройство для повышения давления (сжатия) и перемещения газообразных веществ. В объёмных компрессорах газ перекачивается порциями расчётного фиксированного объёма. Механическая основа подобных компрессоров может быть весьма различна: компрессоры могут быть поршневыми, спиральными и роторными. Роторные компрессоры, в свою очередь, бывают кулачковые, винтовые и шиберные. Также возможны прочие уникальные конструкции. В любом случае идея перекачки основана на попеременном заполнении газом некоего объёма с последующим вытеснением его далее. Производительность объёмных компрессоров определяется количеством перекачанных порций за любой интересующий период времени и линейно зависит от частоты рабочих ходов. Основное применение — накачка газа в любые ресиверы/хранилища.

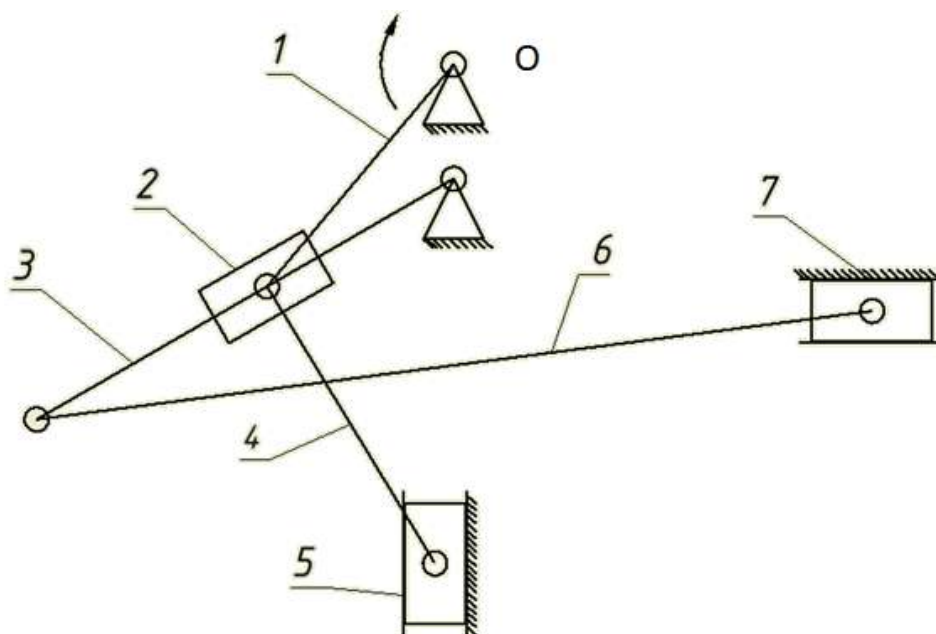


Рис.1. Кинематическая схема механизма компрессора

На рисунке 1 изображена кинематическая схема парового насоса с кривошипно-шатунным механизмом привода. Механизм состоит из стойки 0, кривошипа 1, камня кулисы 2, коромысла-кулисы 3, шатунов 4,6, ползунов 5,7.

Принцип работы механизма компрессора довольно прост. Начальный вращательный механизм (0-1) передает движение на кулису (2-3), которая в свою очередь создает поступательное движение в ползунах 5,7 при помощи шатунов 4,6. Ползун совершая поступательное движение создают эффект компрессии. Эффект компрессии создается за счет уменьшения объема газа при движении поршня в цилиндре. Всасывающие и нагнетательные клапаны поджаты пружиной и работают автоматически

под действием перепада давления, возникающего между цилиндром компрессора и давлением в трубопроводе при движении поршня.

Исходя из схемы механизма можно утверждать, что это поршневой компрессор. Компрессоры данного типа широко применяются в машиностроении, текстильном производстве, в химической, нефтегазовой, холодильной промышленности и криогенной технике.

**Список литература:**

1. Абдурашитов С. А. Насосы и компрессоры. — М.: Недра, 1974.
2. Михайлов А. К., Ворошилов В. П. Компрессорные машины. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 288 с. — ISBN 5-283-00090-7.
3. Френкель М. И. Поршневые компрессоры. — М.-Л.: Машгиз, 1960.
4. Моисеенко К. А. Анализ работы парового насоса // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25-27 Января 2019. - Новокузнецк: НИЦ МашиноСтроение, 2019 - С. 47-48



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ШАССИ САМОЛЕТОВ

*А.О. Мартынова, студент гр. 0782*

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

*E-mail: [aom22@tpu.ru](mailto:aom22@tpu.ru)*

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

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

Кинематическая схема балочного механизма шасси представлена на рисунке Рис. 8.

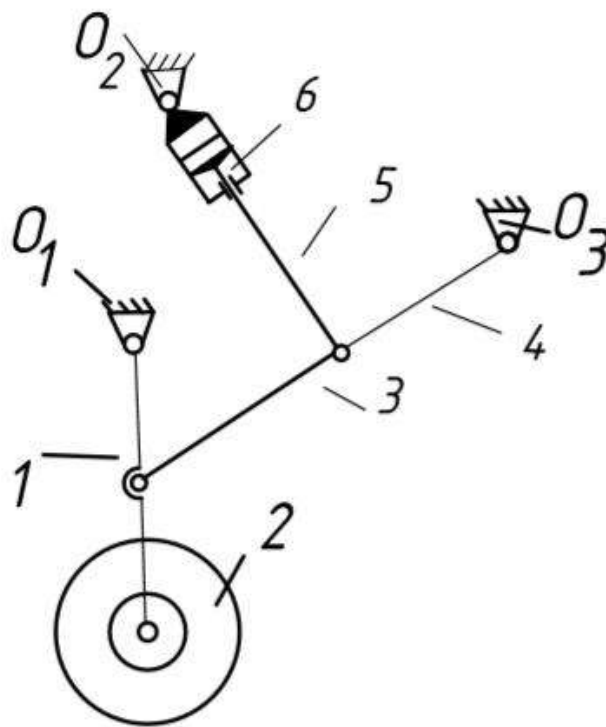


Рис. 8. Балочная конструктивная схема

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

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

Кинематическая схема подкосного механизма шасси представлена на рисунке 9.

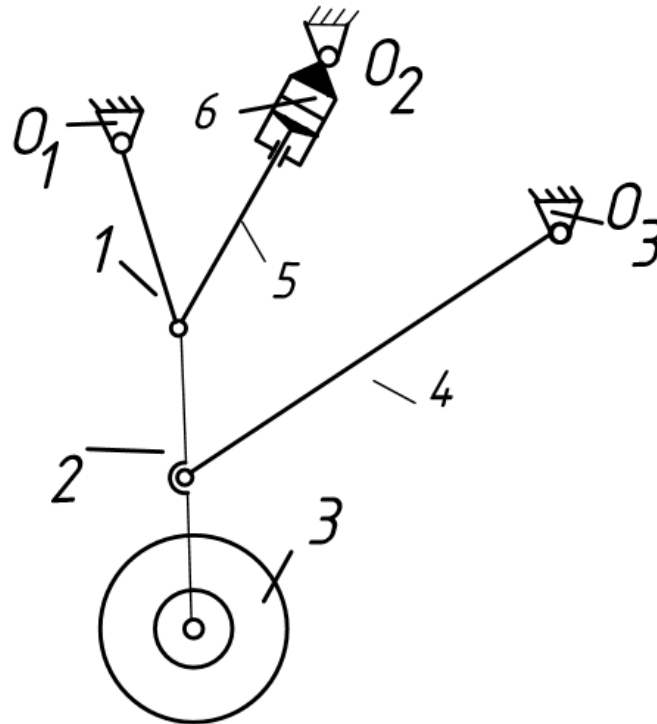


Рис. 9. Подкосная конструктивная схема

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

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

Ферменная конструкция является наиболее простой. Состоит из нескольких неубирающихся подкосов. Используется в легких самолетах, набирающих небольшую скорость. В балочной конструктивной схеме происходит вращение стойки вокруг опоры. В ферменно-балочной схеме (подкосной) происходит складывание подкосов и уборка шасси. Наиболее выгодным вариантом механизма является подкосная система. В ней нагрузка, действующая на стойку шасси, является минимальной.

#### Список литературы:

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

## ПОДШИПНИКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

*К.А. Моисеенко, студент гр. 5А7Б*

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

E-mail: [Kostya-1024@mail.ru](mailto:Kostya-1024@mail.ru)

Турбогенератор — электрическое устройство, которое состоит из синхронного генератора и паровой (газовой) турбины, выполняющей роль привода. Турбогенератор отличается от генераторов, выполненных вертикально, используемых в паре с гидротурбинами ГОСТ 5616. В электростанциях применяется именно турбоагрегаты.

Турбогенератор преобразует внутреннюю энергию рабочего тела, в электрическую, путем вращения паровой (газовой) турбины. Минимальная скорость вращения ротора составляет от десятков тысяч оборотов в минуту и достигает значений необходимых по расчетам.

Основные узлы генератора - это статор и ротор. Но каждый из них содержит большое число систем и элементов. Ротор - вращающийся компонент генератора и на него воздействуют динамические механические нагрузки, а также электромагнитные и термические. Статор — стационарный компонент турбогенератора, но он также подвержен воздействию существенных динамических нагрузок — вибрационных и крутящих, а также электромагнитных, термических и высоковольтных [1].

Подшипники паровой турбины являются промежуточным звеном между ее ротором и статором.

Подшипники турбогенератора можно разделить на две основные группы:

- опорные подшипники;
- упорные подшипники.

Подшипники, служащие опорой для ротора, называются опорными. Опорные подшипники турбин имеют цилиндрические и шаровые опоры, в зависимости от которых они делятся соответственно на жесткие и самоустанавливающиеся [2].

Они предназначены для центрования ротора в радиальном направлении, восприятия веса ротора и сил, возникающих при его вращении. Опорные подшипники главных турбин работают с большими окружными скоростями, достигающими 50—65 м/сек при удельных нагрузках до 1,0—1,2 Мн/м<sup>2</sup>.

Для надежной работы к подшипникам должно непрерывно подводиться масло под давлением 0,06—0,2 Мн/м<sup>2</sup>, которое одновременно охлаждает подшипник. Подвод масла целесообразен с двух сторон в районе горизонтального разъема, где давление масляного слоя минимальное и масло затягивается шейкой в нижний вкладыш подшипника. По длине вкладыша масло всегда вводится посередине и растекается в обоих направлениях: отвод осуществляется с обоих концов нижнего вкладыша в сливную полость. Опорные подшипники турбин имеют цилиндрические и шаровые опоры, в зависимости от которых они делятся соответственно: на жесткие и самоустанавливающиеся [2].

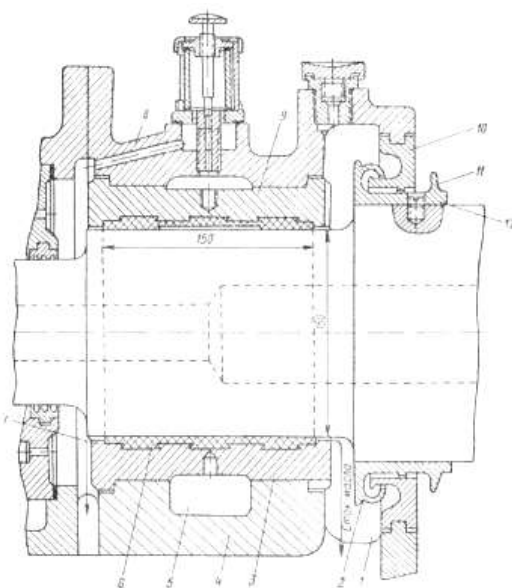


Рис. 1. Жесткий опорный подшипник

На рисунке 1 показан жесткий подшипник, состоящий из следующих основных частей: корпуса или стула 4, крышки 8, нижнего 3 и верхнего 9 вкладышей, имеющих баббитовую заливку 6. Для лучшего удержания баббита во вкладышах выточены продольные и поперечные канавки в форме ласточкина хвоста. В современных подшипниках канавки заменяют спиральной нарезкой. Масло подводится в кольцевую полость 5 и далее через холодильник к середине шейки, откуда растекается в обоих направлениях по шейке и затем стекает с концов вкладыша в сливную полость. Подшипник снабжен маслоотбойным устройством, состоящим из втулки 12, на концах которой расположены кольцо 2 и выступ 11, и двух вкладышей 10, которые заводятся в крышку и стул подшипника. Просочившиеся брызги масла отводятся через отверстия 1 в сливную полость стула. Буртики 7 предназначены для удержания шейки ротора в случае выплавления баббита, чем будет предотвращено повреждение уплотнений и лопаточного аппарата.

Самоустанавливающиеся подшипники более сложны по конструкции, но обладают возможностью самоцентрирования, что увеличивает срок их службы.

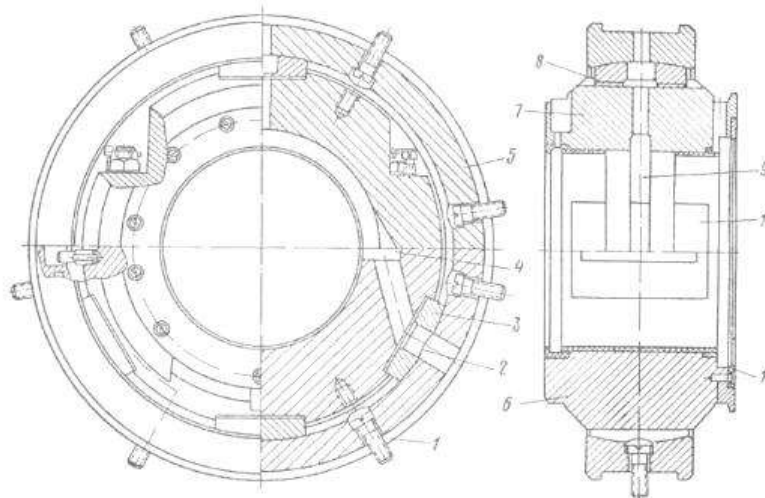


Рис. 2. Самоустанавливающийся подшипник

На рисунке 2 показан самоустанавливающийся подшипник турбины для сухогрузного судна. Нижняя половина обоймы 1 прикреплена к корпусу подшипника, а

верхняя 5—к крышке. Внутренняя поверхность обоймы сферическая. На четырех сухарях 3, прикрепленных к обойме винтами и имеющих также сферическую поверхность, лежат нижний 6 и верхний 7 вкладыши. Сферическая обойма и сухари позволяют подшипнику самоустанавливаться. Рабочая поверхность вкладышей залита тонким слоем баббита. Масло поступает под давлением по направлению вращения ротора через каналы 2 в щель 4 (ее назначение — обеспечить подачу масла, но всей длине вкладыша); выточка 10 во вкладышах образует специальные масляные карманы, называемые холодильниками. По каналу 9 масло подводится к контрольному прибору подшипника. Наборные прокладки 8 облегчают центрование подшипника по шейке ротора. Подшипник снабжен маслоотбойным щитком 11.

Упорные подшипники своим назначением обеспечивают определенное взаимное положение ротора турбины относительно статора в осевом направлении и воспринимают осевое давление ротора, не допуская его перемещений в осевом направлении.

Общей особенностью жестких упорных подшипников является установка обоймы с упорными подушками в цилиндрической расточке корпуса подшипника. Упорные подушки могут свободно поворачиваться вокруг своей точки опоры, в зависимости от режима работы турбины, а опоры остаются неподвижными в вертикальной плоскости, перпендикулярной горизонтальной оси вала. В последние годы жесткие подшипники почти полностью заменены самоустанавливающимися, которые можно разделить на следующие группы:

- а) самоустанавливающиеся со сферическими обоймами, которые могут поворачиваться вслед за гребнем;
- б) самоустанавливающиеся с уравнительными устройствами для автоматического выравнивания давления на подушки;
- в) прикрепленные к сферическому самоустанавливающемуся вкладышу опорного подшипника и образующие с ними комбинированный опорно-упорный подшипник.

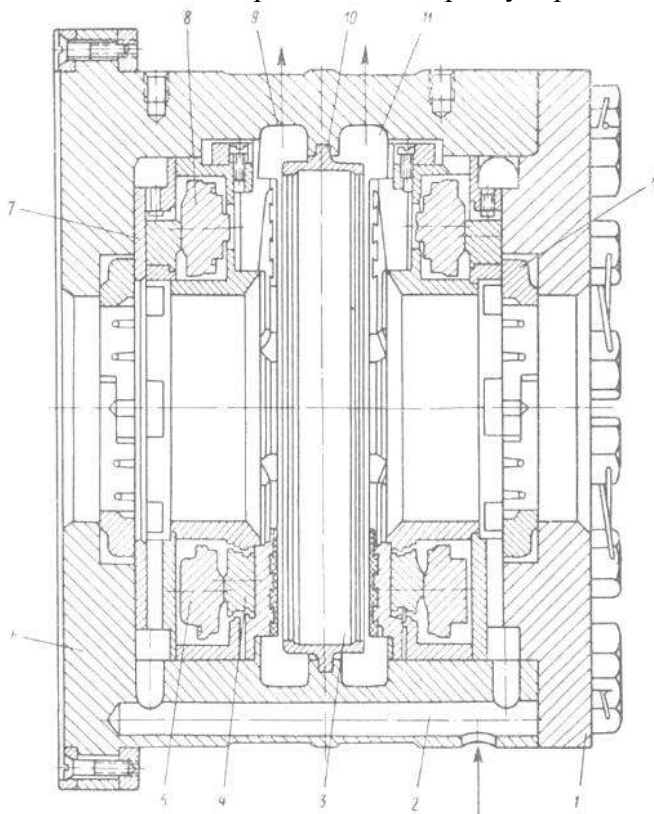


Рис. 3. Самоустанавливающийся упорный подшипник

Самоустанавливающийся упорный подшипник с уравнивающим устройством представлен на рисунке 3. Осевое усилие от упорного гребня 3 передается упорными подушками 4 на обойму 7 через два ряда уравнивающих подушек первого 5 и второго 8 рядов. Все детали подшипников (переднего и заднего хода) смонтированы по обеим сторонам упорного гребня в общем вставном корпусе 6 с торцевой крышкой 1, состоящей из двух половин — верхней и нижней.

Упорные и уравнивающие подушки, располагаясь по окружности, образуют замкнутую цепь. Каждая упорная подушка передает давление подушек первого ряда на две уравнивающие подушки второго ряда, обеспечивая равномерность распределения давления на все подушки. При увеличении нагрузки на одну любую упорную подушку расстояние ее от упорного гребня увеличивается, а расстояние смежных с ней подушек уменьшается. Благодаря этим перемещениям подушек нагрузка на них распределяется равномерно как в случае некоторого отклонения плоскости упорного гребня от первоначального положения, так и при их некоторой неточности в изготовлении. Масло подводится по каналу 2 отдельно для подушек переднего и заднего ходов. Отвод масла осуществляется также отдельно через сливные полости 9 и 11, разделенные уплотнительным кольцом 10. Утечку масла вдоль вала предотвращают бронзовые уплотнительные самоустанавливающиеся кольца 12 [1].

К подшипникам турбин предъявляются очень высокие требования в смысле надежности и долговечности их работы, малых потерь на трение и возможной точности установки. Износ подшипника может привести к серьезной аварии (особенно у реактивных турбин), а неточность установки вызывает вибрацию турбины.

#### **Список литературы:**

1. Орлов, Александр Васильевич. Оптимизация рабочих поверхностей опор качения / А. В. Орлов; Академия наук СССР (АН СССР); Государственный научно-исследовательский институт машиноведения. — Москва: Наука, 1973. — 84 с.: ил. — Библиогр.: с. 82.
2. Heat and mass transfer in viscous fluid flows in open cavities with moving boundaries under cooling the external contour/Krainov A.V., Pashkov E.N., Yurovskiy P.G.// Advanced Materials Research. 2014. Т. 1040. С. 638-641.

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ШАССИ САМОЛЁТА

*К.А.Морозова, студент гр. 0781*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [kam@tpu.ru](mailto:kam@tpu.ru)*

Взлёт и посадку считают ответственными периодами при эксплуатации самолёта. В этот период возникают максимальные нагрузки на всю конструкцию. Гарантировать приемлемый разгон для поднятия в небо и мягкое касание поверхности посадочной полосы могут только надёжно сконструированные стойки шасси. В полете они служат дополнительным элементом придания жесткости крыльям.

Рассмотрим механизм шасси с передним колесом, такая схема имеет также название трехстоечная: одна стойка носовая и две позади. Схему начали применять более широко в послевоенный период. Для уменьшения нагрузки в узле крепления применяются подкосы, разгружающие амортизаторную стойку в одной или двух плоскостях. Такая схема называется подкосной или ферменно-балочной.

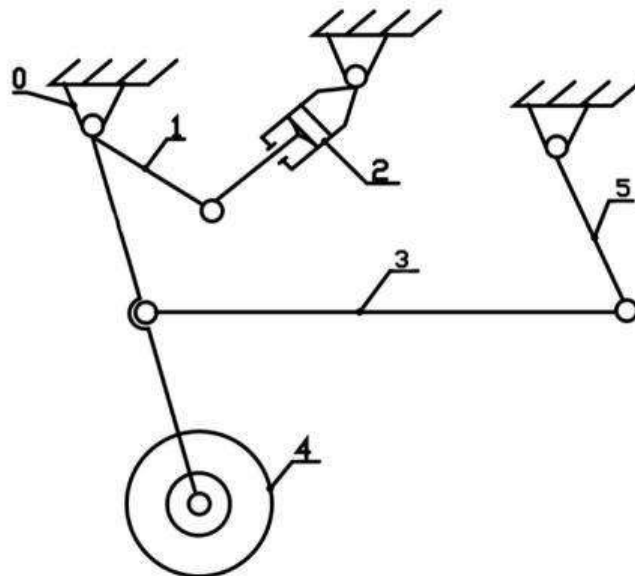


Рис. 1. Кинематическая схема шасси самолёта.

На рисунке 1 показана кинематическая схема механизма шасси самолёта, где 0 – опора, 1–амортизаторная стойка, 2– цилиндр – подъемник, 3 – складывающийся лобовой подкос, 4 – колесо, 5 –боковые подкосы.

Амортизаторная стойка является основным элементом шасси, связывающая опоры шасси с конструкцией шасси и конструкцию самолета. Цилиндр- подъемник служит для уборки и выпуска шасси, а также для фиксации шасси в выпущенном положении. Внутренняя полость стойки используется для устройства амортизатора. Колесо состоит из пневматиков, барабана и тормозных устройств. Подкосы шасси служат дополнительными опорами стойки и разгружают ее от изгибающего момента и увеличивают жесткость конструкции. Уборка и выпуск шасси осуществляется гидравлическим цилиндром подкосом, который в выпущенном положении выполняет роль подкоса.

В современных самолетах для уборки и выпуска шасси используют гидравлический

привод. Пневматическая или электрическая система считается морально устаревшей. Гидроцилиндры привода устанавливаются на стойках или корпусе самолета, а для фиксации шасси в одном из положений применяют различные замки или распоры.

Конструкторы самолетов стараются создавать максимально простые системы шасси, что позволяет снизить степень поломок. Все же существуют модели со сложными системами, ярким примером могут послужить самолеты ОКБ Туполева. При уборке шасси в машинах Туполева оно поворачивается на 90 градусов, это делается для лучшей укладки в ниши гондол.

Для фиксации стойки в убранном положении используют замок крюкового типа, который защелкивает серьгу, размещенную на стойке самолета. Каждый самолет имеет систему сигнализации положения шасси, при выпущенном положении горит лампа зеленого цвета. Нужно отметить, что лампы имеются для каждой из опор. При уборке стоек загорается красная лампа или просто гаснет зеленая.

### **Список литературы:**

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
3. О сварке дугой, горящей в динамическом режиме [Электронный ресурс] / А. Ф. Князьков [и др.] // Вестник науки Сибири: электронный научный журнал / Томский политехнический университет (ТПУ). — 2013. — № 4 (10). — [С. 48-53].



## АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА

*П.А. Пономарёва, студентка гр. 0482*

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

Парораспределительный механизм – главный компонент системы парораспределения в поршневой паровой машине. Изначально, он позволял лишь подавать пар в разные области цилиндра, приводя его в движение, и менять направление движения, однако впоследствии появилась возможность регулировать отсечку для более полного использования парового двигателя.

Первые парораспределительные механизмы применялись на паровых двигателях судов и машинах горнодобывающей промышленности. На паровозах же их начал использовать Джордж Стефенсон в 1825 году. Затем в 1832 году Уильям Джеймс изобретает кулисный парораспределительный механизм, впервые использованный на паровозе типа «0-2-0», который вскоре взорвался, уничтожив изобретение. Через 10 лет, в 1842 году, Уильям Гау, один из рабочих завода «RobertStephensonandCompany», повторно создает кулисный парораспределительный механизм. Вскоре на своих паровозах его начинает использовать Роберт Стефенсон, из-за чего кулиса приобретает его имя.

Парораспределительные механизмы чаще всего применяются в судах и паровозах. Однако основанные на том же принципе работы газораспределительные механизмы нашли куда более широкое применение.

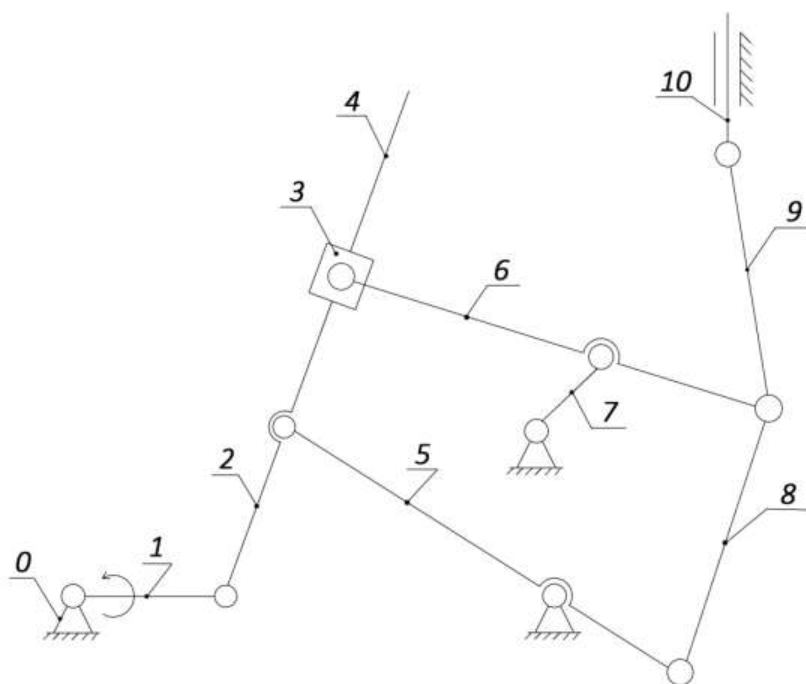


Рис. 1. Кинематическая схема парораспределительного механизма

На рисунке 1 изображена кинематическая схема парораспределительного механизма, который состоит из стойки 0, обратного кривошипа 1, шатунов 2, 5, 6, 8, 9, 10, коромысла 7, камень-кулисы 3 и кулисы-ползуна 4.

Кулисное парораспределение состоит из: 1) эксцентрика или коленчатого вала, или обратного кривошипа 1, посаженного на главном валу, 2) из кулисы 4, дугообразной формы, жесткой конструкции. Нижним концом кулиса сцеплена с эксцентриковой тягой, верхний же конец кулисы свободен, причем кулиса выпуклостью своей обращена к главной оси. Кулисный камень 3 соединен тягой с золотниковым штоком; причем кулисная тяга связана шарнирно с подвеской переводного вала 6, управляемого рукояткой 7. При расположении кривошипа главного вала в мертвых точках кулиса становится так, что перемещение рычага перемены хода 10 не влияет на золотник, причем окна парового цилиндра открыты на величину, соответствующую линейному опережению; при расположении кривошипа в точках, удаленных на 90 от мертвых точек стояния, золотниковая коробка, при передвижении распределительного рычага 10 на прямой или обратный ход, открывает полностью паровые окна цилиндра, а при центральном расположении распределительного рычага паровые окна полностью закрываются золотником.

**Список литературы:**

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике // 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
2. Моисеенко К. А. Анализ работы парового насоса // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25-27 Января 2019. - Новокузнецк: НИЦ МашиноСтроение, 2019 - С. 47-48

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ДИЗЕЛЯ

*В.А. Присяжнюк, студент гр. 0781*  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
E-mail: [sl4dk49i@mail.ru](mailto:sl4dk49i@mail.ru)

Дизельный двигатель представляет собой поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу самовоспламенения распылённого топлива от воздействия разогретого при сжатии воздуха. Впервые о двигателях внутреннего сгорания заявил французский изобретатель Сади Карно, сформулировав принцип работы. Однако реализация идеи Карно на практике удалась немецкому изобретателю Рудольфу Дизелю в 1897 году. Первые образцы двигателя, созданные Дизелем, не обрел успеха в практическом использовании, хотя и превосходил паровые машины своего времени. Мощность двигателя составляла 20 лошадиных сил при 172 оборотах в минуту, КПД 26,2% при весе пять тонн. Это намного превосходило существующие двигатели Отто с КПД 20% и судовые паровые турбины с КПД 12%, что вызвало немедленный интерес промышленности. Двигатель Дизеля сразу же нашёл применение, был оценён во многих странах.

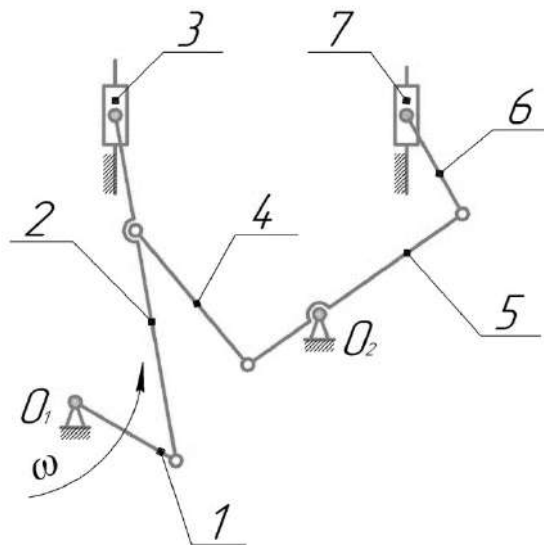


Рис. 1. Кинематическая схема двигателя дизеля

На рисунке 1 изображена кинематическая схема двигателя дизеля с кривошипно-шатунным механизмом. Механизм состоит из стойки  $O_1$  и  $O_2$ , кривошипа 1, коромысла 5, шатунов 2, 4, 6 и ползунов 3,7.

Двигатель состоит из коленчатого вала, шатунов, поршней, распредвала, впускных и выпускных клапанов, свечей накаливания и корпуса двигателя.

Принцип работы дизельного двигателя следующий:

Такт впуска – поршень из верхней мертвой точки переходит в нижнюю мертвую точку; открытие впускного клапана осуществляется кулачками распредвала и в цилиндр поступает топливно-воздушная смесь;

Такт сжатия – поршень из нижнего мертвого положения перемещается в верхнее мертвое положение; за счет сжатия поступившей топливно-воздушной смеси повышается температура в камере;

Такт расширения (рабочий ход) – движение поршня из верхнего мертвого положения в нижнее мертвое положение сопровождается сгоранием топлива, и под действием тепла сгоревшего топлива рабочая смесь расширяется, толкая поршень;

Такт выпуска – дойдя до нижней мертвой точки рабочего цикла открывается выпускной клапан, и движущийся вверх поршень вытесняет выхлопные газы из цилиндра двигателя. Поршень достигнув верхней мертвой точки закрывает выпускной клапан, и цикл начинается сначала.

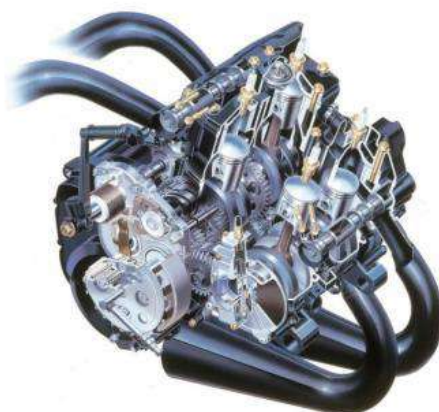


Рис. 10. П-образный Двигатель

К преимуществам двигателя можно отнести экономичность использования топлива, надежность, экологичность, долговечность, получение на выходе большей энергии и простота обслуживания. К недостаткам дороговизна машины, большой вес, зависимость от температуры, шумность и износостойкость.

Современные дизельные двигатели бывают со следующей маркировкой: **HDI, TDI и SDI**

Дизельные двигатели нашли применение в различных отраслях транспортной промышленности: привода стационарных силовых установок, на рельсовых и безрельсовых транспортных средствах, самоходных машинах и механизмах, а также в судостроении в качестве главных и вспомогательных двигателей.

Список литературы:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Сообщество машин и людей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/3037433/>, – Загл. с экрана. – 2016.
3. Система питания дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autokontakt.ru/sistema-pitaniya-dizelnogo-dvigatelya/>, Загл. с экрана. – 2019.
4. Моисеенко К. А. , Черемискина (Стерхова) М. С. Модернизация насосной системы насосных агрегатов на кустовой насосной станции // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», Екатеринбург, 4-5 Апреля 2019. - Екатеринбург: УГГУ, 2019.
5. П-образный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.motovelosport.ru/articles/2008\\_06\\_10\\_moto\\_engine/2008\\_06\\_10\\_moto\\_engine.php](http://www.motovelosport.ru/articles/2008_06_10_moto_engine/2008_06_10_moto_engine.php), –Загл. с экрана. – 2019.
6. Дизельный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дизельный\\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дизельный_двигатель), –Загл. с экрана. – 2019.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРУЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТЕ

*О.С. Пустовых, ассистент*

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

E-mail: [bos1983@tpu.ru](mailto:bos1983@tpu.ru)

Развитие новых технологий позволяет совершенствовать технику и технологический процесс сварки. Перспективным способом неразъемного соединения изделий малых толщин и выполнения корневого слоя в многослойных швах является сварка дугой, горящей в динамическом режиме. Первые упоминания о способе сварки дугой питаемой кратковременными импульсами тока большой величины встречаются в работе Славина Г.А. [1]. Данный способ сварки, основан на сжатии дуги за счет питания ее кратковременными мощными импульсами тока. Несмотря на перспективность использования, дуга, горящая в динамическом режиме, является мало изученной. Литературный анализ позволяет получить лишь поверхностные знания о процессах и особенностях горения дуги.

В связи с тем, что способ сварки дугой, горящей в динамическом режиме малоизучен, в лаборатории была создана экспериментальная установка [2] для более полного изучения данного способа. Данная установка позволяет перевести стационарную дугу в динамический режим. Основной частью, позволяющей осуществить данный переход, является импульсное устройство, выполненное в виде формирующего элемента, в качестве которого применяется искусственная формирующая линия, состоящая из п ячеек.

Исследование электромагнитных процессов в цепях такого типа затруднено и требует решения большого количества дифференциальных уравнений различного порядка. Применение компьютерной техники в таких случаях незаменимо и позволяет часть натурных экспериментов заменить компьютерным моделированием. В ряде работ [3] предлагаются математические модели системы «источник питания – дуга с плавящимся электродом» и «источник питания (импульсный) – дуга с плавящимся электродом». При исследовании разработанной системы ни одна из перечисленных моделей не может быть применима в связи с тем, что способы сварки различны. Приложение Simulink пакета компьютерной программы MATLAB, предназначенной для математического моделирования, позволяет проводить численные исследования динамики нелинейных систем, не решая в явном виде дифференциальные уравнения [3].

Разработанное импульсное устройство, возможно, представить в приложении Simulink следующим образом (рисунок 1).

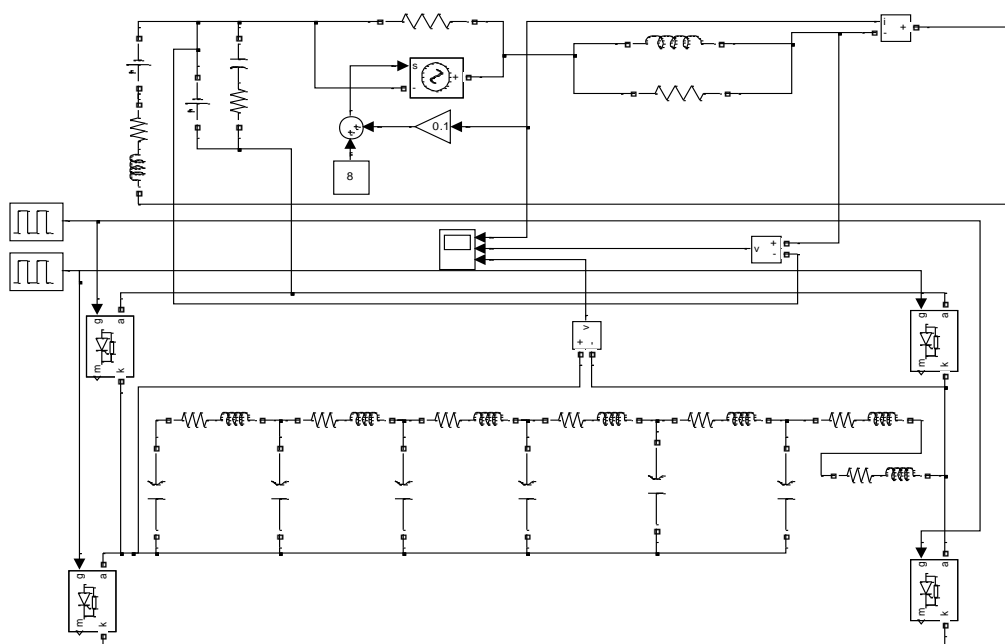


Рис.1. Модель импульсного устройства в Simulink

Временные диаграммы тока и напряжения блока импульсного устройства представлены на рисунке 2.

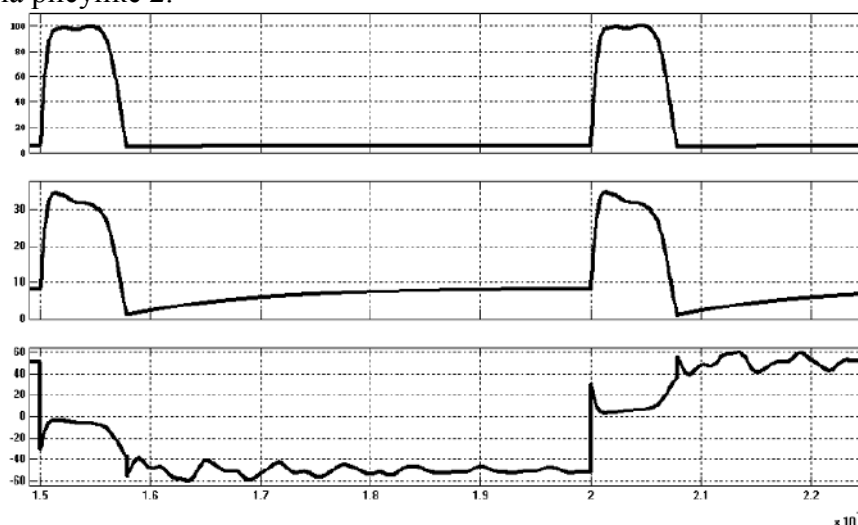


Рис.2. Временные диаграммы при нагружении модели импульсного устройства.

Используя данный блок, возможно, изучить процесс формирования импульсов тока и напряжения и дать рекомендации по массогабаритным значениям каждой из ячеек.

#### Список литературы:

1. Славин Г.А., Столпнер Е.А. Некоторые особенности дуги, питаемой кратковременными импульсами тока // Сварочное производство. – 1974. – № 2. – С. 3–5.
2. Устройство для формирования импульсов сварочного тока. Пат. 2343051 РФ. МПК7 В23К 9/09; Н03К 3/53/ А.Ф. Князьков, В.Л. Князьков, О.С. Бирюкова, В.А. Устинов. Заявлено 04.06.2007; Оpubл. 10.01.2009, Бюл. № 1.
3. Иццохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Советское радио. 1972. – 592 с.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

*Е.Д.Савельев, студент гр. 0781*

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

*E-mail: [eds13@tpu.ru](mailto:eds13@tpu.ru)*

Первый двигатель внутреннего сгорания был изобретен французским инженером Лемуаном в 1860 г. Этот двигатель во многом повторял паровую машину, работал на светильном газе по двухтактному циклу без сжатия. КПД такого двигателя составляла примерно 5%. Через 7 лет немецкий инженер Н.Отто в 1867 г. создал 4-х-тактный двигатель с воспламенением от сжатия. Через множество преобразований в 1885 г. Г.Даймлер и К.Бенц создали двигатель небольшой мощности для самодвижущихся экипажей – автомобилей. С этого года началась эра автомобилей.

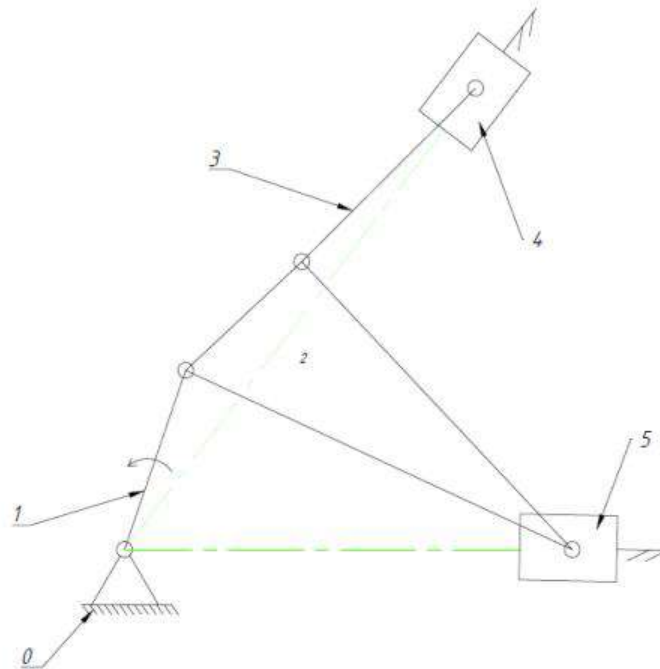


Рис. 11. Кинематическая схема двигателя

На Рис. 11. Кинематическая схема двигателя изображена кинематическая схема двигателя. Механизм состоит из стойки 0, кривошипа 1, шатунов 2;3 и ползунов 4;5.

Двигатель состоит из коленчатого вала, шатунов, поршней, распредвала, впускных и выпускных клапанов, свечей и корпуса двигателя.

Принцип работы двигателя состоит из 4 тактов. Такт первый – впуск. Поршень перемещается от верхней мертвой точки к нижней, при этом цилиндр двигателя заполняется горючей смесью через открытый впускной клапан. Смесь, попадая в камеру сгорания, смешивается с остатками отработавших газов. Такт второй - сжатие. Поршень движется к верхней мертвой точки, оба клапана закрыты, рабочая смесь в цилиндре сжимается, тем самым создавая повышение давления и температуры, и воспламеняется от искры свечи зажигания. Такт третий – расширение. При воспламенении рабочей смеси в цилиндре двигателя выделяется значительное количество теплоты и избыточное давление, под действием которого поршень перемещается к нижней мертвой точке. При перемещении вниз, с помощью шатуна, поршень приводит во вращение коленчатый вал.

Такт четвертый - выпуск. Поршень стремится к верхней мертвой точке через открытый впускной клапан, отработавшие газы выталкиваются в окружающую среду.



Рис. 12. Внешний вид двигателя внутреннего сгорания

К преимуществам двигателя можно отнести равномерность работы, использование на различных потребителях, автономность, высокая надежность, низкая стоимость, простота обслуживания. К недостаткам относится токсичность, низкий коэффициент полезного действия, высокая частота вращения вала, шумность.

Двигатели внутреннего сгорания бывают следующих видов: рядный, V-образный, с двумя горизонтальными противоположными цилиндрами (оппозитный двигатель).

Современные двигатели внутреннего сгорания постоянно совершенствуются, в результате чего уровень их КПД повышается, а мощность увеличивается. Несмотря на то, что с экологической точки зрения они наносят вред окружающей среде, они все еще занимают первое место по уровню применения среди всех остальных видов моторов.

Список литературы:

7. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
8. Autodromo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autodromo.ru/articles/dvigatel-vnutrennego-sgoraniya-vidy-princip-deystviya-preimushchestva-i-nedostatki>, – Загл. с экрана. – 2016.
9. Устройство автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://k-a-t.ru/PM.01\\_mdk.01.01/3\\_dvs\\_4/](http://k-a-t.ru/PM.01_mdk.01.01/3_dvs_4/), – Загл. с экрана. – 2016.
10. Моисеенко К. А. , Черемискина (Стерхова) М. С. Реконструкция подстанции "Стародубская" // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 т., Новосибирск, 3-7 Декабря 2018. - Новосибирск: НГТУ, 2018 - Т. 4
11. Fandom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://motorcycle.fandom.com/ru/wiki/>, – Загл. с экрана. – 2014.
12. Unit-car [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unit-car.com/ustroystvo/24-dvigatel-vnutrennego-sgoraniya.html>, Загл. с экрана. – 2019.
13. Пустовых, Ольга Сергеевна. Компьютерное моделирование электромагнитных процессов в формирующем элементе / О. С. Пустовых, А. А. Подзывалов // Наука, технологии, инновации : материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 29 ноября - 2 декабря 2012 г.в 7 ч.. — 2012. — Ч. 3. — С. 245-248.



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

14. Мир знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirznanii.com/a/287745/dvigateli-vnutrennego-sgoraniya-ikh-preimushchestva-i-nedostatki>, Загл. с экрана. – 2015.

15. Exist [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.exist.ru/document/articles/1316>, Загл. с экрана. – 1998.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСЦЕНТРИКОВО ЦИКЛОИДАЛЬНОГО (ЭЦ) ЗАЦЕПЛЕНИЯ В ГЛАВНЫХ ПЕРЕДАЧАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ)

*В.В. Становской, С.М. Казакиявичюс, Т.А. Ремнева,*  
ЗАО «Технология маркет», 634055, г. Томск, пр. Академический 8/8,  
тел. (3822)701401  
E-mail: [tm@ec-gearing.ru](mailto:tm@ec-gearing.ru)

Как известно, одной из основных причин неисправности главных передач, особенно для тяжелогруженных транспортных средств, является износ зубьев шестерен, имеющих классический эвольвентный профиль зубьев. С износом зубьев повышается шум и биения в передаче, которые затем приводят к поломкам подшипников и шлицевых соединений. В настоящей работе рассмотрена возможность повышения надежности техники с использованием зубьев эксцентриково - циклоидального профиля.

ЭЦ зацепление представляет собой косозубое зацепление зубьев кругового профиля с зубьями циклоидального профиля [1]. Как было показано в работах [2 - 4] такое зацепление имеет перед эвольвентным косозубым зацеплением значительные преимущества.

Расчетные характеристики, обуславливающие преимущества ЭЦ зацепления перед эвольвентным представлены ниже.

- **КПД** 98...99% (при  $K$  трения=0,075);
- **Передаточное отношение** в одной ступени,  $U=(1-12)$ ;
- **Допустимая скорость** вращения до 30 000 об/мин;
- **Передаваемый момент** на 30-40% выше, чем у эвольвентного при одинаковых размерах колес;
- Зацепление устойчиво к **излому ножки** зуба;
- Менее критично к **перекосам** и межцентровым **зазорам**;
- Низкий **уровень вибраций и шума**, так как нет пульсаций передаваемого момента;

Первый конический редуктор с ЭЦ зацеплением был спроектирован и изготовлен для мотовоза МПТ – 6. Он заменил двухступенчатый эвольвентный редуктор. Технические характеристики редуктора:

- Передаточное отношение  $u=6$
- Максимальные обороты входного вала  $n_1=2470$  об/мин.
- Максимальный выходной момент  $T_2=5110$  Нм.
- Максимальный диаметр конического колеса:  $D_2=554$  мм.

Этот редуктор находится в эксплуатации без ремонта с 2011 года, что в три раза превышает срок службы аналогичных эвольвентных редукторов.

В рамках аванпроекта «Магистраль» Фонда перспективных исследований в 2017-2018 г. на базе испытательной лаборатории Крыловского государственного научного центра г. Санкт-Петербург были проведены сравнительные испытания двух редукторов: серийно выпускаемого двухступенчатого эвольвентного редуктора марки 5Ц2-125-12,5-12 (редуктор №1) и редуктора с ЭЦ зацеплением (редуктор №2). Редуктор №1 является серийной продукцией ОАО «Зарем», г. Майкоп, дополнительно оборудованный гильзой для размещения термометра, контролирующего температуру масла. Зубчатые колеса редуктора имеют шлифованную поверхность зубьев 5-6 степени точности.

Редуктор №2 – доработанный редуктор, объединяющий корпус серийного редуктора, произведенный ОАО «ЗАРЕМ» с гильзой для термометра, оснащенный

зубчатыми колесами с эксцентриково-циклоидальным профилем зубьев. Зубчатые колеса изготовлены лезвийно концевыми фрезами без последующей шлифовки и имели 7-8 степень точности.

В ходе испытаний проводился контроль и регистрация следующих параметров:

- a) Температура окружающего воздуха.
- b) Температура масла в картере редуктора.
- c) Передаваемая редуктором мощность.
- d) Шумовые характеристики
- e) Спектральные характеристики по вибрации.
- f) Предельно допустимый до поломки зубьев крутящий момент.

Измерение всех параметров проводили в следующих режимах:

- 1) Без нагрузки
- 2) 760 Н·м
- 3) 1520 Н·м
- 4) 2280 Н·м

при номинальной частоте вращения входного вала редуктора – 1500 об/мин.

Мощность, передаваемую редуктором, измеряют при помощи ваттметра, включенного в цепь питания электродвигателя.

Шум измерялся с помощью с помощью переносного шумомера, на расстоянии 500 мм от редуктора.

Спектральные характеристики вибрации меряли в подшипниковых опорах входного и выходного валов.

Работоспособность редукторов при работе на предельных моментах проверяли с помощью нагружения динамометрическим ключом при фиксированном выходном вале. (см.рис. 1)

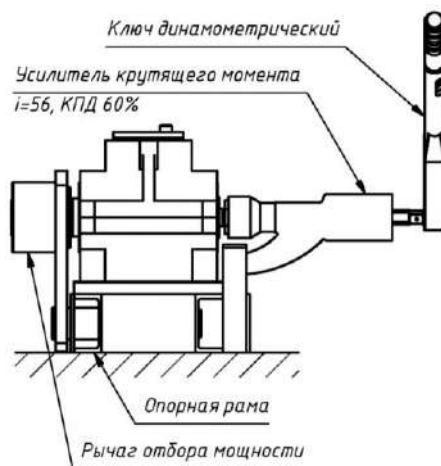


Рис. 1. Схема испытаний на максимальную нагрузочную способность

В процессе испытаний фиксируется значение крутящего момента, приложенного к входному валу усилителя крутящего момента.

Зависимости температуры масла в картере редуктора от нагрузки приведены для исследуемого и контрольного редукторов на рисунке 2 (Редуктор 1 - Эвольвентный редуктор, Редуктор 2 – ЭЦ редуктор).

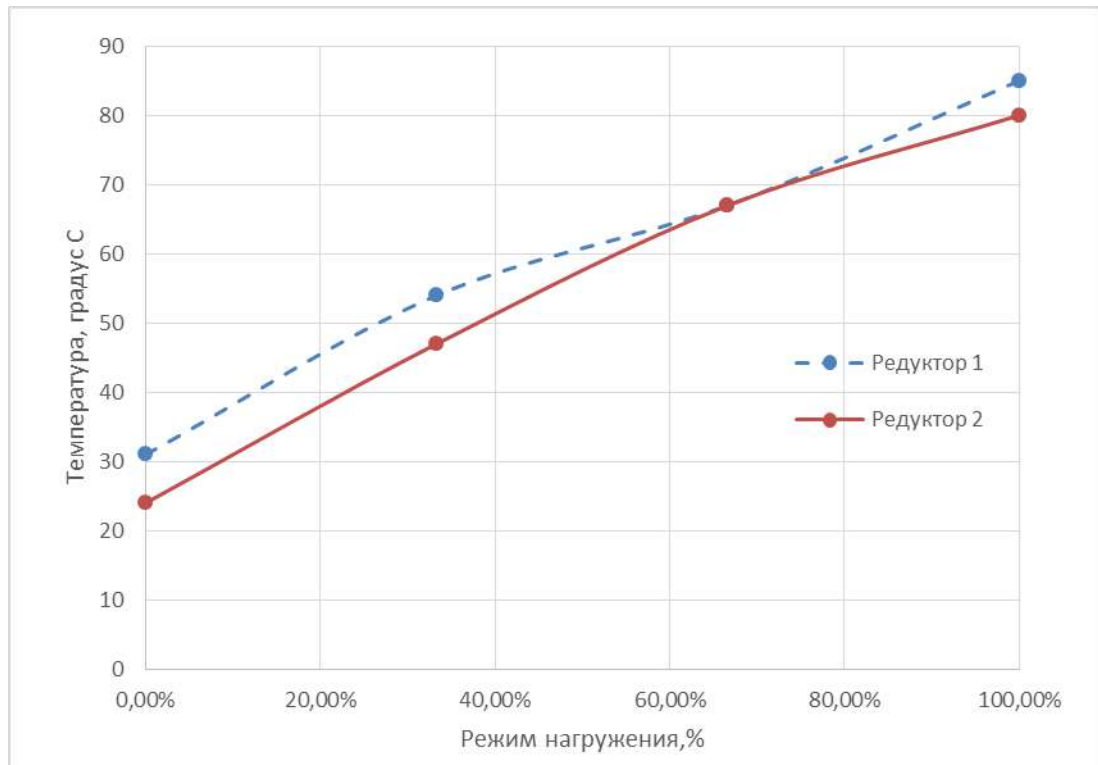


Рис. 2. Зависимость температуры масла в картере редуктора от режима нагружения редукторов

Видно, что температура масла в редукторе с ЭЦЗ в разных режимах нагружения ниже чем в эвольвентном редукторе в среднем на 4,0 градуса. Это означает, что в редукторе №2 меньше потери, а соответственно выше КПД. В среднем это повышение составляет 6,6 %.

Уровень шума обоих редукторов, измеренный при стопроцентном нагружении редукторов составил 78 дБ. Равный уровень шума редукторов обусловлен выбранной схемой измерения шума, при которой электродвигатель и нагрузочное устройство оказывают существенное влияния на полученный результат.

В результате анализа *спектрального распределения* уровней вибрации выявлено:

- превышение вибрации на редукторе с ЭЦЗ в сравнении с редуктором с эвольвентным зацеплением в частотном диапазоне 12,5-500 Гц на величину от 3 до 23 дБ;
- снижение вибрации на редукторе с ЭЦЗ в сравнении с редуктором с эвольвентным зацеплением в частотном диапазоне 630-10000 Гц на величину от 1 до 6 дБ.

Повышение вибрации обусловлено более низкой точностью изготовления зубчатых колес с ЭЦЗ. На рисунке 6 приведено сравнение точности изготовления зубчатых колес с эвольвентным и ЭЦ-зацеплением. Точность изготовления измеряли методом контроля по шарикам. Видно, что точность изготовления эвольвентных колес соответствует 5- 6 степени точности, тогда как точность изготовления ЭЦ - колес соответствует 7-8 степени точности.

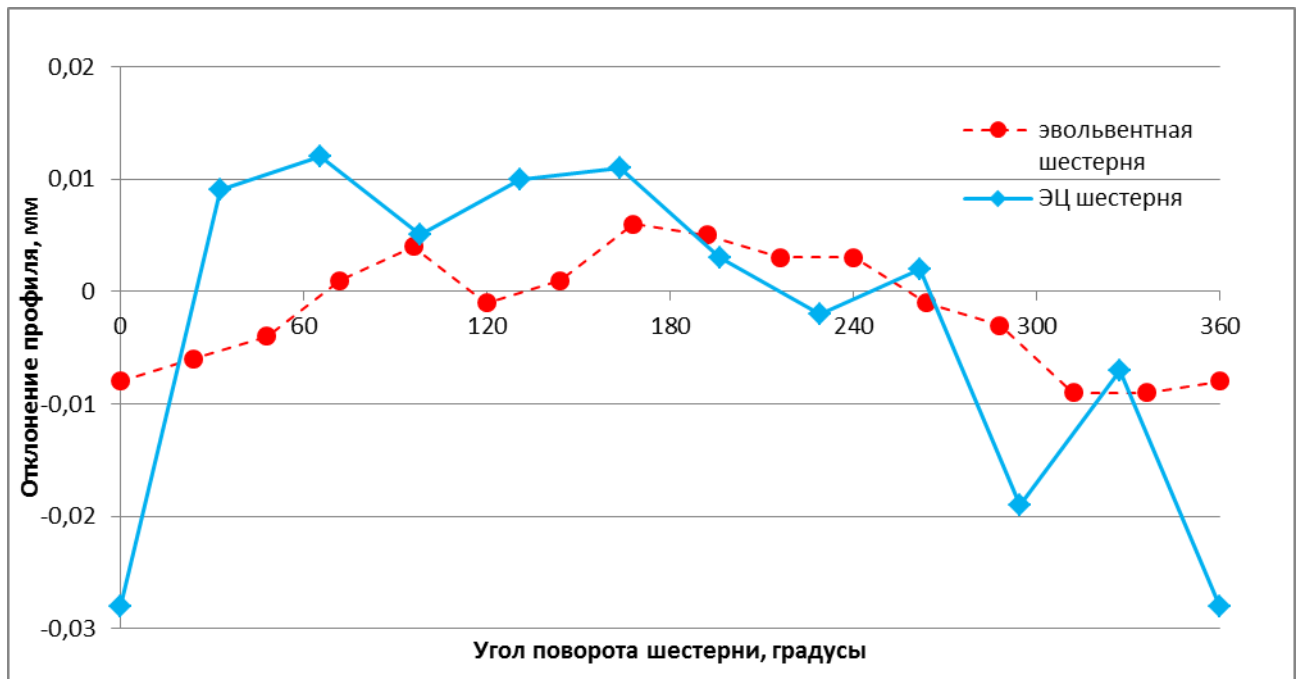


Рис. 4. Сравнение точности изготовления зубчатых колес с эвольвентным и ЭЦ-зацеплением. (ось X-угол поворота шестерни; ось Y- отклонение профиля от номинального значения в мм).

Данные результаты можно объяснить изменением геометрии зубчатых колёс с ЭЦЗ после окончательной чистовой обработки из-за остаточных напряжений в металле после закалки. При небольших нагрузках КПД в ЭЦЗ превосходит КПД эвольвентного редуктора, т.к. контакт в зубьях происходит в районе полюса зацепления, и величина погрешности зубьев не оказывает существенное влияние на характеристики редуктора. При увеличении нагрузки площадь пятна контакта увеличивается, что приводит к повышению влияний погрешностей зубчатого зацепления *на вибрацию и шум* и к снижению КПД.

Более качественная термообработка зубчатых колёс (закалка в вакууме и т.п.), а также большее время выдержки заготовок перед чистовой обработкой для компенсации остаточных напряжений, накопленных в металле, может значительно уменьшить эти эффекты.

В ходе проведения сравнительных испытаний на предельный крутящий момент, вызвавший разрушение редуктора получены следующие результаты:

а) Для редуктора №1

- максимальная величина крутящего момента, приложенного к входному валу усилителя крутящего момента составила 96 Н·м;
- при испытаниях разрушились зубчатые колеса второй ступени;
- величина усилия  $F_p$ , приложенного непосредственно к зубчатым колесам и вызвавшая их разрушение определялась по формуле :

$$F_p = \frac{M_{дк} \cdot i_{ум} \cdot i_1}{0,5 \cdot D_{W21}} = 711,1 \text{ кН}$$

где:  $M_{дк}$  – величина крутящего момента, приложенного к входному валу усилителя крутящего момента

$i_{ум}$  – передаточное число усилителя крутящего момента

$i_1$  – передаточное число первой ступени редуктора

$D_{w21}$  – начальный диаметр шестерни второй ступени.

б) Для редуктора №2:

- максимальная величина крутящего момента, приложенного к входному валу усилителя крутящего момента, составила 120 Н·м;
- испытания были прекращены в связи с разрушением корпуса редуктора;
- разрушение зубчатых колес не наступило;
- величина усилия  $F_p$ , действующего во второй ступени редуктора, в момент разрушения корпуса редуктора составила **901,6 кН**

Таким образом, ЭЦЗ позволяет получить прирост величины передаваемого момента не менее чем на 25 %, при геометрических размерах передачи, равных эвольвентной.

Аналогичные испытания были проведены в научно техническом центре ОАО «КАМАЗ» на стенде, предназначенном для испытания ведущих мостов автомобиля КАМАЗ.

Результаты испытаний показали их хорошую согласованность с предыдущими.

Для примера на рис. 5 приводим график изменения температуры масла в редукторах со временем после предварительной приработки (Редуктор 1 - Эвольвентный редуктор, Редуктор 2 – ЭЦ редуктор).

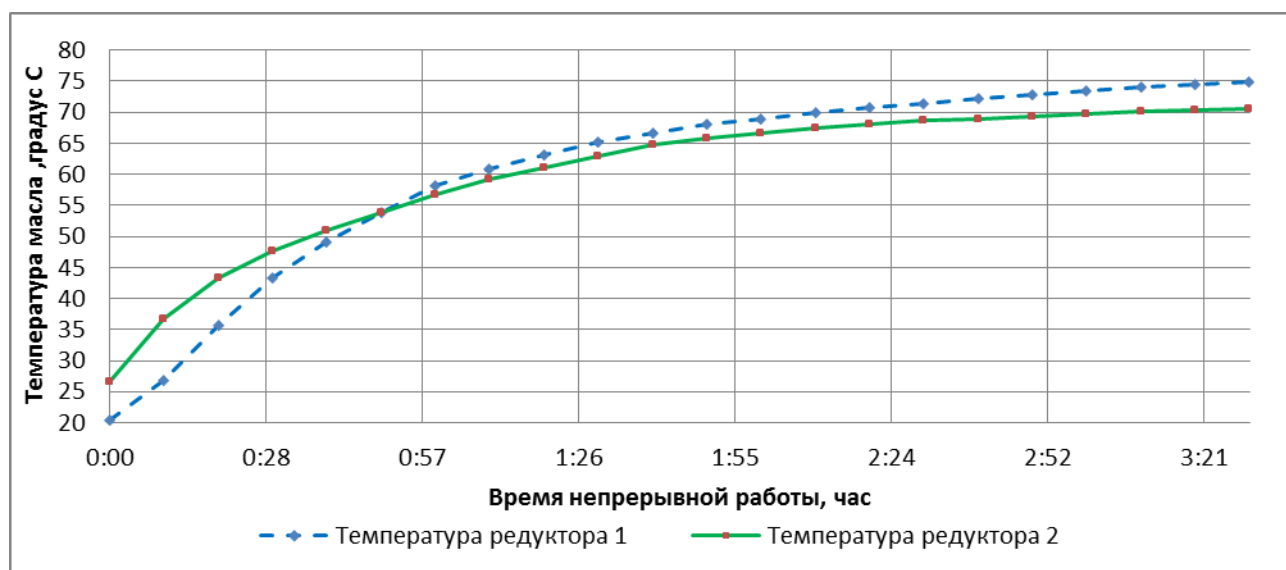


Рис.5 Сравнение температуры редукторов

Через 3,5 часа работы под нагрузкой редукторы вышли на установившийся режим. При этом температура ЭЦ – редуктора была ниже температуры эвольвентного на 4, 6 градуса, или на 6,2%. Это означает, что потери в ЭЦ-зацеплении меньше.

Повышенная температура ЭЦ-редуктора в начале испытаний соответствует его приработке, что подтверждает вышеприведенные выводы о повышении характеристик редуктора при повышении точности изготовления.

В данном цикле испытаний были проведены прямые измерения КПД при разных режимах нагружения. При этом обнаружили большие скачки, причем они наблюдались как у эвольвентного (от 0,66 до 0,78), так и у ЭЦ редуктора (от 0,68 до 0,80). Но среднее значение КПД в ЭЦ-редукторе было на 2% больше. А это означает, что в одной паре ЭЦ-зацепления КПД выше на 1%.

По теории КПД цилиндрического эвольвентного зацепления составляет ~ 98%. Следовательно, в ЭЦ-зацеплении оценка КПД дает значение 99%.

Дополнительно были проведены ресурсные испытания. Для этого увеличили передаваемый входной момент в 2,5 раза от номинального (450 Нм вместо 180 Нм) и фиксировали время работы редукторов до их поломки. Эвольвентный редуктор перестал работать через 6 часов работы. Разборка редуктора показала, что сломались зубья колеса первой ступени.



Рис.6 Колесо первой ступени эвольвентного редуктора

ЭЦ редуктор прекратил работу через 6 часов 44 минуты работы при повышенном моменте, осмотр деталей показал, что погнулся вал первой ступени и сломался вал второй ступени, зубья же всех четырех колес остались целыми. Т.е поломку зубьев в ЭЦ редукторе осуществить не удалось. Но даже если учитывать просто поломку редуктора, то и тогда ЭЦ редуктор отработал при повышенном моменте на 12 % дольше.



Рис. 7 Вал первой ступени ЭЦ редуктора

#### Выводы:

1. Шестерни с ЭЦ-зацеплением могут передавать большую мощность при сохранении температурного баланса в редукторе. Либо можно уменьшать размеры редуктора при передаче той же мощности. Если это касается главных передач, то можно увеличить клиренс автомобиля, или увеличить передаваемую мощность. Зарубежные автопроизводители в главных передачах на основе эвольвенты достигают этого дорогими технологиями, дорогими материалами и дорогими смазками,
2. ЭЦ редуктор обладает повышенной прочностью при прочих равных условиях.
3. Есть перспективы уменьшения шума и вибрации в ЭЦ-зацеплении по сравнению с эвольвентным зацеплением при повышении качества обработки зубьев. Уменьшение вибрации в передачах тяжело нагруженных автомобилей уменьшает вред, причиняемый здоровью водителей.

#### Список литературы

1. Становской В.В., Казакиявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М., Бубенчиков А.М., Щербаков Н.Р. Новый вид зацепления колёс с криволинейными зубьями. // - Справочник. Инженерный журнал. - 2008. - № 9 (138). - С. 34-39.
2. Щербаков Н.Р. Оптимизация геометрии эксцентриково-циклоидального зацепления по КПД и контактным напряжениям // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51. – № 8/2. – С. 288–293.
3. Становской В.В., Казакиявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых колёс и механизмы на его основе. // -

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

Сборник докладов научно-технической конференции с международным участием. - Ижевск. - 2008. - С. 148-152.

4. Kazakyavichyus S.M., Stanovskoy V.V., Remneva T.A., et al. Performance of Eccentric – Cycloid Entgagement with Change in the Interaxial Distance<sup>^</sup>: Modification of Tooth Configuration. // - Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31. - No3. - pp.197-199.



## КОНСТРУКТИВНАЯ КОРРЕКТИРОВКА ЦЕНТРА МАСС ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

*К. В. Стрыгин, инженер-технолог,  
АО «Научно-производственный центр «Полюс», 634050, г.Томск, пр. Кирова, 56 "в"  
тел.(3822)-606-612  
E-mail: [strygin.k@gmail.com](mailto:strygin.k@gmail.com)*

Сегодня передачи с промежуточными телами качения находят все большее применение во многих отраслях машиностроения. Исключительные технико-экономические характеристики [1] позволяют применять передачи даже в малогабаритных приводах, которые могут быть использованы в роботизированных комплексах.

Согласно исследованиям [2] передачи с промежуточными телами имеют коэффициент полезного действия сравнимый с волновыми и планетарными редукторами. Если в системе допустим люфт, передача с промежуточными телами качения имеет явное преимущество, заключающееся в том, что его можно интегрировать в роботизированную систему, используя простые технологии изготовления, а также потенциально увеличенный крутящий момент [3]. Так как, эти исследования затрагивают космическое машиностроение, то встает вопрос об актуальности задачи по увеличению ресурса работы передачи в условиях, где отсутствует возможность произвести оперативные ремонтные работы. Один из факторов, влияющих на ресурс работы передачи, это эксцентриситет быстроходного звена [4,5], который в процессе эксплуатации передачи приводит к увеличенному износу подшипниковых опор. Именно по этой причине уравнивание центра масс эксцентрикового звена является актуальной задачей современного машиностроения.

Устранение дисбаланса неуравновешенных передач разделяют на два типа [6]:

- уравнивание – используется при проектировании механизмов;
- балансировка – устранение дисбаланса в процессе производства.

Остаточный дисбаланс генератора должен соответствовать требованиям ГОСТ 22061 [7]. Передачи с промежуточными телами качения могут быть спроектированы с небольшими значениями скорости вращения быстроходного звена, а, следовательно, могут быть случаи, когда уравнивание не потребуется.

В случае, когда остаточный дисбаланс не соответствует требованиям стандарта, необходимо произвести уравнивание эксцентрикового звена. Для этого выдерживаются условия статической и динамической уравниванностей [6]:

- силы и моменты равны нулю в том случае, когда координаты центра массы расположены на оси вращения, или ротор статически уравниван, если его центр тяжести расположен на оси вращения;
- моменты равны нулю, если центробежные моменты инерции ротора равны нулю, или ротор динамически уравниван, если его ось вращения является главной центральной осью инерции.

Передача с промежуточными телами качения (рис. 1) имеет эксцентриковый вал 1. На сегменте вала с эксцентриситетом  $e$  установлены подшипники 2, а на подшипниках установлен сателлит 3 с циклоидальным профилем, по которому перекатываются промежуточные тела качения 4. Именно эти части приводят к наибольшему дисбалансу в передаче. Работа механизма описана в патенте на передачу с промежуточными звеньями [8].

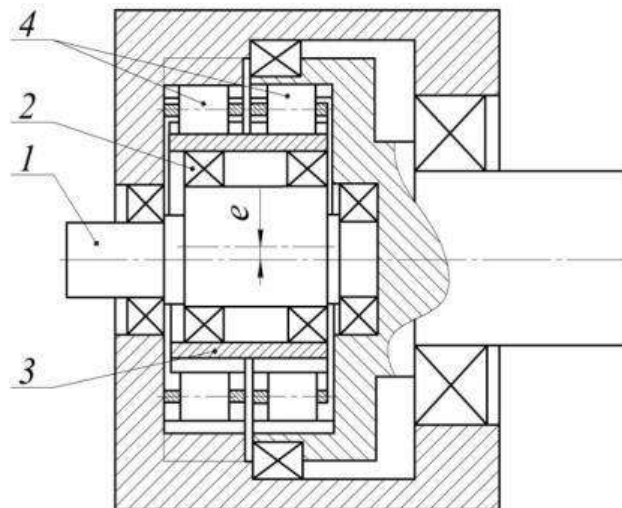


Рис. 1. Передача с промежуточными телами качения.

На рисунке 2 представлен эксцентриковый вал 1 с внутренними кольцами подшипников 2. Именно они имеют наибольшую скорость вращения, за счет прямой связи с двигателем.

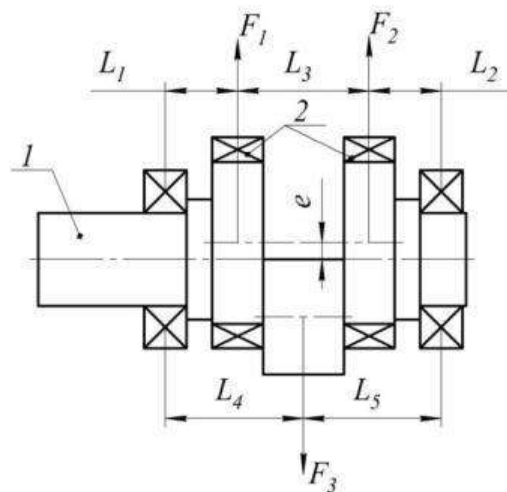


Рис. 2. Статически и динамически уравновешенный эксцентриковый генератор.

Для статического равновесия эксцентрикового генератора достаточно предусмотреть противовес, который сместит ось центра масс на ось вращения (рис. 2).

Условие статического равновесия вала:

$$\sum F = F_1 + F_2 - F_3 = 0,$$

где,  $F_1, F_2, F_3$  – центробежные силы эксцентриковых сегментов и противовеса;

$\sum F$  – сумма центробежных сил, возникающих при вращении генератора.

Для динамического равновесия потребуется спроектировать эксцентриковые сегменты и противовес относительно опор так, чтобы сумма моментов  $\sum M$ , возникающих относительно опор, была равна нулю (рис.2).

Условие динамического равновесия для левой части вала:

$$\sum M = F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot (L_1 + L_3) - F_3 \cdot L_4 = 0.$$

Условие динамического равновесия для правой части вала:

$$\sum M = F_3 \cdot L_5 - F_1 \cdot (L_2 + L_3) - F_2 \cdot L_2 = 0.$$

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что на этапе проектирования существует возможность корректировки центра масс таким образом, что будет обеспечено статическое и динамическое равновесия. В случаях, когда остаточный дисбаланс не соответствует требованиям ГОСТ 22061 требуется производить технологическую балансировку. Эффективность уравнивания будет напрямую зависеть от точности, предъявляемой к изготавливаемым деталям передачи, которые создают дисбаланс.

#### **Список литературы:**

1. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – 295 с.
2. Farrell L. C. Cycloidal gear train in-use efficiency study / L. C. Farrell, J. Holley, W. Bluthmann, M. C. O'Malley // Proceedings. 42nd Mechanisms and Robotics Conference. – Quebec City, 2018. – pp. 1-8.
3. Lustenkov, M.E. Planetary Ball Transmissions: Strength Calculations // Russian Engineering Research. – 2010, Vol.30, No. 9, pp. 862-866.
4. Ефременков Е.А., Сорокова С.Н., Кобза Е.Е. Особенности проектирования двухполюсной передачи с промежуточными телами качения // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 2. С. 59-62.
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. Каримов, Ильдар. Теория машин и механизмов [Электронный ресурс] / И. Каримов. – Электрон. текстовые дан. – Уфа: [б.и.]. – Режим доступа: <http://www.teormach.ru/>.
7. ГОСТ 22061 – 76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 136 с.
8. Ефременков Е.А., Ан И-Кан, Панкратов Э.Н. Передача с промежуточными звеньями // Патент России №2319051. 2008. Бюл. №7.

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА АВАРИЙНОГО РУБИЛЬНИКА

*А.Б.Тогузбаева, студент гр.0782*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: [abt7@tpu.ru](mailto:abt7@tpu.ru)

После создания в 70-х годах XIX века достаточно мощных и экономичных источников электрической энергии в виде электрических генераторов, последовавшего вслед за этим в 1889 г. изобретения русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским трехфазной системы переменных токов и трехфазного трансформатора началось создание и внедрение различных аппаратов управления и регулирования: выключателей, переключателей, контакторов, регуляторов напряжения и др. Так, М.О. Доливо-Добровольский разработал и впервые применил в 1893 г. выключатель-рубильник с пружинными контактами и автоматом [1].

Аварийные выключатели необходимы для обеспечения возможности принудительного прерывания цепи управления в случае возникновения внештатных ситуаций.

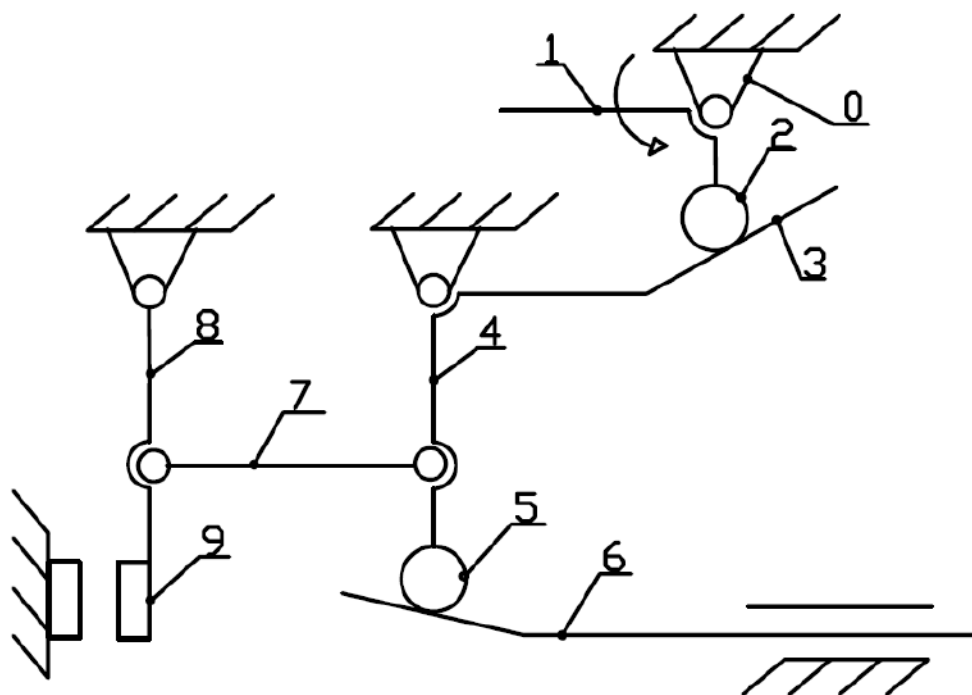


Рис. 1. Кинематическая схема аварийного рубильника

На рисунке 1 показана кинематическая схема кулисного механизма – аварийного рубильника. Где 0 – стойка, 1, 4, 8 – кулисы, 2, 5 – эксцентрики, 3, 6 – коромысла, 7 – шатун, 9 – камень кулисы.

Аварийные выключатели имеют простой принцип работы, основанный на системе блокировки при нажатии и сбросе при повороте кнопки. Выключатель с фиксацией встраивается в основную цепь управления оборудованием или процессом. В случае возникновения внештатной ситуации, требующей остановки работы, оператор оборудования нажимает на кнопку для принудительного размыкания цепи управления. Тогда после задания начальной угловой скорости кулисе 1 сообщаем эксцентрику вращательное и поступательное движение, приводя в движение звено 3, благодаря

кулисе 4 и эксцентрику 5, который движется по звену 6, что связано свободной заделкой с опорой, вращательно-поступательно влево, приводя в движение шатун 7 и кулису 8, связанную с камнем кулисы 9. Что в свою очередь, замыкает цепь.



Рис. 2. Аварийный рубильник

Ввиду простоты механизма, показанного на рисунке 2, он имеет ряд достоинств. Во-первых, высокое качество исполнения, что подтверждает моделирование механизма в среде Simulink Matlab. Во-вторых, универсальные технические характеристики, подходящие к оборудованию и сетям различных типов. В-третьих, широкий модельный ряд с возможностью выбора выключателя необходимых размеров и формы. Последнее преимущество механизма - это простота установки и эксплуатации [2].

Главным же недостатком аварийного рубильника является необходимость ручного управления, что затрудняет автоматизацию процесса. Автоматизированная система в состоянии самостоятельно проводить диагностику цепи, лучше человека. А также с помощью автоматизированной системы создается возможность, в случае необходимости, дистанционно отключить цепь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. А.Гофман. "Электричество" № 17, 1902. – 26-28 с.
5. Тясто, А. А. Повышение эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне / А. А. Тясто, И. И. Радионов, О. С. Пустовых // Наука, технологии, инновации : материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Новосибирск, 02-06 декабря 2014 г. в 11 ч.. — 2014. — Ч. 3. — С. 30-34.
6. G.Daniels. This kill switch can save your life. "Popular mechanics", 1974. – 50с.

## ЭФФЕКТИВНОЕ ВИБРОИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СУЛЬФАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ ФТОРОВОДОРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Ю.М. Федорчук, д.т.н., проф.,*

*Н.В. Замятин, д.т.н., проф.,*

*Е.Н. Пашков, к.т.н., доцент.,*

*В.А. Данекер, к.т.н., доцент.,*

*Л.А. Аниканова, к.т.н., доцент.,*

*Д.В. Нарыжный, аспирант гр. А7-19*

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

*E-mail: [divkut@mail.ru](mailto:divkut@mail.ru)*

Актуальной задачей экологического характера является проблема переработки постоянно накапливающихся отходов промышленности, решение которой целесообразно рассматривать на основе использования энергосберегающих технологий.

В данной статье приведены результаты исследований производительности измельчения лабораторной установки виброизмельчителя при обработке сульфаткальциевых отходов фтороводородных производств химической промышленности. Полученные результаты позволили путём расчётных аналогий определить параметры промышленного виброизмельчителя, которые легли в основу изготовления экспериментального образца. Испытания экспериментального образца продемонстрировали существенно высокие эксплуатационные показатели процесса измельчения фторангидрита по сравнению с традиционно применяемым оборудованием типа шаровой мельницы.

**Целью данной статьи** является исследование эффективности виброизмельчения одного из твердых промышленных отходов – фторангидрита, аналога природному минеральному сырью – ангидриту, и разработка модели масштабирования лабораторного виброоборудования с заданной промышленной производительностью в одном из способов утилизации сульфаткальциевых отходов фтороводородных производств химической промышленности.

При получении целевого продукта – фтороводорода по реакции 1



попутно образуется твердый отход сульфат кальция безводный, в технической и научной литературе именуемый фторангидритом. Основу фторангидрита составляет твердый сульфат кальция безводный – до 98,2 % масс., представляющий собой гранулообразный материал с переменным гран.составом от 30 до 0,1 мм, при этом насыпная масса колеблется в пределах (1,37-1,57) т/м<sup>3</sup>, истинная масса равна - 2,57 т/м<sup>3</sup>. Ранее было установлено, что наиболее перспективным направлением применения фторангидрита после его обезвреживания является использование вяжущих свойств указанного отхода при получении различных строительных материалов и изделий [1].

Из теории схватывания вяжущих материалов известно, что чем больше активная поверхность вяжущего, тем более прочными получаются строительные изделия [2]. Поэтому для строительной промышленности помимо обезвреживания, т.е. нейтрализации кислых компонентов фторангидрита, требуется измельчение и усреднение состава сырьевого материала. Таким образом, процесс измельчения вышеназванного минерального техногенного материала является составной частью энерго- и ресурсосберегающей технологии получения ангидритового вяжущего.

Ранее сотрудниками ТПУ процессы обезвреживания и измельчения фторангидрита проводили в шаровой мельнице [3], но при этом наблюдалась относительно низкая объемная производительность указанной мельницы – около  $0,04 \text{ т/м}^3 \cdot \text{час}$ , и недостаточная степень механоактивации – максимальный размер получаемых гранул был около  $0,6 \text{ мм}$  (при увеличении степени измельчения понижалась производительность мельницы). Эти обстоятельства вызвали необходимость усовершенствования указанного процесса измельчения, поэтому было предложено процесс механоактивации фторангидрита проводить в виброизмельчителе [4]. Использование вибрации, оказывающей активационное воздействие на свойства веществ, известно и позволяет для целого ряда задач решить их наиболее эффективно [5].

Лабораторный виброизмельчитель (ЛВИ) представляет собой камеру измельчения, выполненную из металлической трубы внутренним диаметром  $80 \text{ мм}$  и высотой  $800 \text{ мм}$ , в нижней части, ограниченной металлической перфорированной перегородкой (рис. 1).

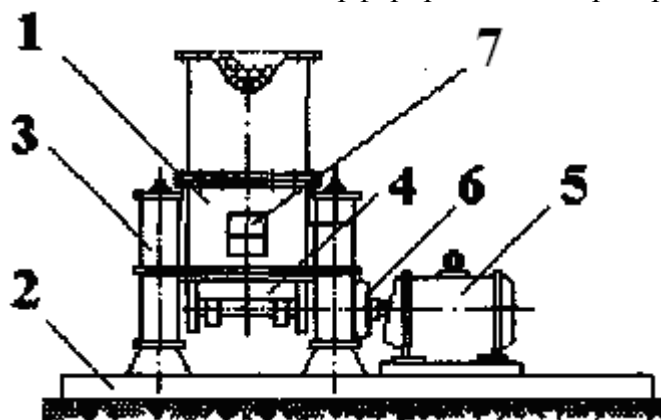


Рис. 1. Лабораторный виброизмельчитель

1 – камера измельчения объемом  $3,2 \text{ л}$ ; 2 – фундаментная плита; 3 – стальные амортизаторы; (4 – 6) – электромеханический вибратор; 7 – окно выгрузки, оборудованное перфорированной перегородкой.

Внутренняя полость камеры заполнена одноразмерными стальными шарами диаметром  $15 \text{ мм}$  на высоту от  $100$  до  $200 \text{ мм}$ . Виброизмельчитель содержит пружинный подвес, эксцентриковый электромеханический вибратор и бункер со шнеком-дозатором для подачи дозированных количеств измельчаемого материала в камеру измельчения. С помощью лабораторного виброизмельчителя (ЛВИ) были определены параметры для измельчения фторангидрита до заданной тонины помола и с максимально эффективной производительностью.

В результате проведения многочисленных экспериментов были получены высокие эксплуатационные характеристики на ЛВИ, дающие основания для проектирования экспериментального образца, обладающего аналогичными удельными эксплуатационными параметрами в промышленных масштабах. На основании лабораторного образца виброизмельчителя была изготовлена многокамерная шаровая вибромельница с вертикальным расположением камер измельчения, показанная на рис. 2.

Мельница представляет собой вертикальную стальную конструкцию, установленную на амортизирующее основание 1, имеющую проем 2 для удаления измельченного материала. Она состоит из скрепленных торцами камер, в том числе верхней - 3, средней - 4 и нижней - 5. Камеры 3,4 и 5 разделены между собой перфорированными перегородками, в том числе верхней-6, средней - 7 и нижней - 8, причем нижняя перегородка 8 снабжена металлическим ситом 9 с калиброванными отверстиями. Камеры 3,4 и 5 заполнены мелющими элементами, в частности верхняя камера 3 заполнена стержнями 10 либо крупными шарами, средняя - шарами 11 средних размеров, нижняя - 5 мелкими шарами 12 либо цельбепсами. При этом размеры отверстий перфорированных

перегородок 6,7 и 8 в каждой из вышерасположенных камер больше, чем ниже - расположенных камерах. Мельница снабжена вибрационным приводом в виде дебалансного вибратора 13, который установлен в верхней её части. Верхняя камера 3 имеет загрузочное отверстие 14 для загрузки мельницы измельчаемым материалом.

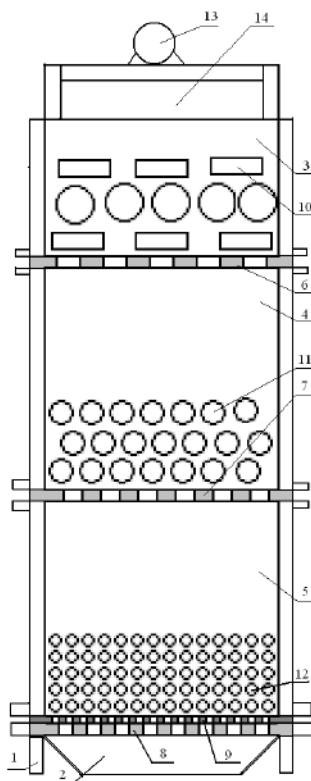


Рис. 2. Многокамерная вибромельница

1 – амортизирующее основание; 2 – проем для удаления материала; 3,4,5 – камеры; 6,7,8 – перфорированные перегородки; 9 – сито с калиброванными отверстиями; 10 – стержни металлические; 11 – шары металлические, средние; 12 – шары металлические, мелкие; 13 – дебалансный вибратор; 14 – загрузочное отверстие.

Через загрузочное отверстие 14 засыпают измельчаемый материал и включают дебалансный вибратор 13. При этом стенки камер 3,4 и 5 и перфорированные перегородки 6,7 и 8 начинают колебаться. Вместе с ними колебательные движения получают и мелющие элементы 10,11 и 12. Эти элементы, сталкиваясь между собой, а также ударяясь о стенки камер 3,4 и 5 и перфорированные перегородки 6,7 и 8, дробят и истирают измельчаемый материал. При достижении определенных размеров частицы материала под действием вибрации и силы гравитации через отверстия перфорированных перегородок поступают сначала в камеру 4, затем в камеру 5, в которых процесс измельчения материала продолжается. Благодаря тому, что нижняя перфорированная перегородка 8 снабжена стальным металлическим ситом 9 с калиброванными отверстиями размеры частиц измельченного материала мало отличаются друг от друга. Просеянный через сито 9 измельченный материал с помощью ленточного транспортера (на чертеже не показано) через проем 2 в основании I поступает в бункер-накопитель.

Таким образом многокамерная конструкция мельницы исключает переизмельчение материала, делает его более равномерным, а в совокупности с ударным воздействием мелющих элементов на частицы материала ускоряет процесс измельчения и делает его более экономичным с точки зрения затрат энергии.

С целью определения эффективности многокамерной мельницы с вибрационным приводом, была разработана экспериментальная двухкамерная мельница с приводом в



виде дебалансного вибратора и мелющими элементами - шарами. Основные параметры конструктивных элементов мельницы:

- диаметр камер 800 и 600 мм и высота 700 и 300 мм соответственно;
- диаметр отверстий перфорированной верхней перегородки – 8 мм, нижней перегородки – 6мм.
- размер отверстий металлического сита - 0,63мм;
- диаметр крупных шаров - 60 мм, мелких шаров – 15 мм.

Испытания вибромельницы доказали, что по сравнению с обычной барабанной мельницей с приводом вращения, заявляемый вариант вибромельницы обладает следующими технико-экономическими преимуществами:

- объемная производительность возросла на два порядка, а расход электроэнергии снизился в 4 раза;
- разброс размера фракций измельченного материала снизился с 90 до 10 %;
- металлоемкость вибромельницы уменьшилась более чем в 10 раз.

Технический результат полезной модели: повышение производительности мельницы, снижение энергозатрат на измельчение материала.

При промышленных испытаниях многокамерная мельница входила в резонанс и нарушалась целостность конструкции, поэтому была спроектирована экспериментальная промышленная установка, представленная на рис. 3, имеющая следующие характеристики:

масса подвижных элементов установки, кг	700
диаметр стальных шаров, мм	30
жѳсткость подвеса, Н/м*10 <sup>3</sup>	72,56
возмущающая сила, Н	85 000
частота вибратора, Гц	50

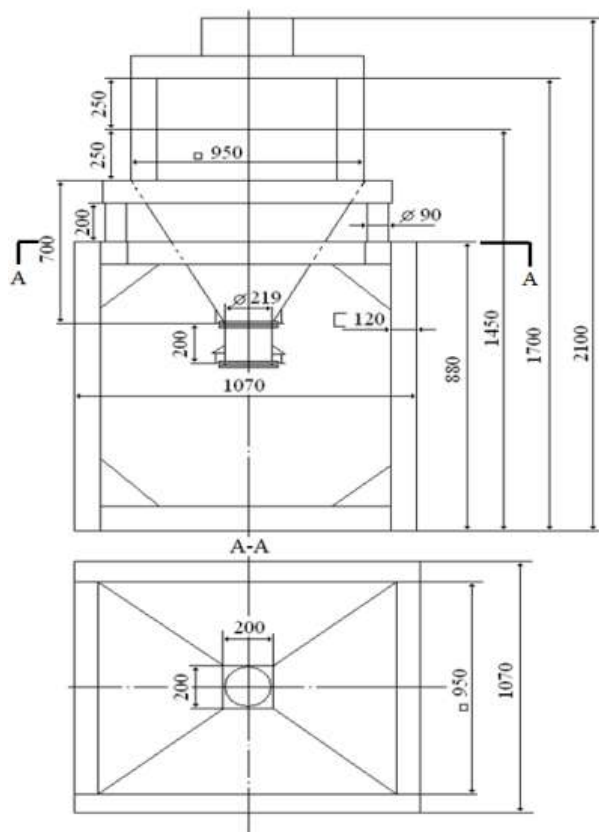


Рис. 3. Размеры промышленного виброизмельчителя производительностью 1,5 т/час.

**В заключение** следует отметить, что виброизмельчение по сравнению с измельчением в шаровой мельнице обладает предпочтительными преимуществами как с позиций ресурсоэффективности (металлоемкость шаровой мельницы (ШР) производительностью 1,6 т/час составляет 13,8 тонны, виброизмельчителя (ВИ) – 0,7 тонны; объемная производительность ШР составляет 0,04 т/м<sup>3</sup>·час, ВИ – 4 т/м<sup>3</sup>·час;), так и с позиций энергосбережения (мощность электродвигателя ШМ составляет 55 кВт или 34,375 кВт/т измельчаемого материала, мощность электродвигателя ВИ – 5,5 кВт или 3,67 кВт/т измельчаемого материала).

### **Список литературы**

1. Федорчук Ю.М. Техногенный ангидрит, его свойства, применение. Изд. ТПУ. Томск. – 2005. - 111 с.
2. Воробьев Х.С. /Гипсовые вяжущие изделия (Зарубежный опыт). – Москва. – Стройиздат. - 1983. 312 с.
3. Федорчук Ю.М. Результаты пуско-наладочных и технологических испытаний производства унификации ангидрита, получаемого из твердых отходов фтороводородного производства Сибирского химического комбината. // Химическая промышленность. - 2004.- №3. - с. 113-115.
4. Федорчук Ю.М., Волков А.А., и др. Многокамерная мельница с мелющими элементами. Патент РФ на полезную модель № 86119 заявлен 13.04.2009 г., опубликован 27.08.2009 г.
5. Лоскутова Ю.В., Данекер В.А. и др. Изменение реологических свойств высокопарафинистых нефтей под воздействием виброструйной магнитной активации. ИФЖ/Национальная академия наук Беларуси, Т.77, №5, 2004. – С.146-150

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ «УРАЛ»

*Д.И. Шишлянников, к.т.н., доц.,  
А.Б. Максимов, аспирант  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29,  
тел.(342)2-198-062  
E-mail: [dish844@gmail.com](mailto:dish844@gmail.com)*

Эффективность работы предприятий, осуществляющих добычу калийной руды подземным способом, определяется техническим уровнем средств механизации и автоматизации основных технологических процессов. Существенное снижение себестоимости продукции калийных предприятий обеспечивается посредством разработки и внедрения высокопроизводительных комбайнов, осуществляющих разрушение калийного массива и погрузку отбитой руды с небольшими удельными энергозатратами и малым выходом мелких классов.

Решение поставленной задачи может быть реализовано посредством совершенствования рабочих органов выемочных машин и их приводов [1, 2].

В настоящее время, на калийных предприятиях России и стран СНГ наибольшее применение нашли комбайны «Урал», выпускаемые ОАО «КМЗ» (г. Копейск, Челябинская обл.). Одним из недостатков пространственных планетарных исполнительных органов комбайнов «Урал» является разрушение массива последовательными расходящимися радиально-тангенциальными резами переменной глубины. Известно, что на энергетические показатели процесса разрушения массива и выход мелких классов наибольшее влияние оказывает глубина резов  $h$ , рациональное значение которой по данным экспериментальных исследований составляет для калийной руды  $h = 12...15$  мм. Каждой глубине реза соответствует рациональный шаг резания, определяемый отношением  $t/h = 2...4$ . Особенность пространственных планетарных органов комбайнов «Урал» состоит в том, что в первой половине резов глубина и шаг увеличиваются, а во второй – глубина уменьшается, а шаг увеличивается до максимального значения. Следовательно, значительная часть забоя разрушается блокированными резами при отношении  $t/h > 7$ .

Сотрудниками кафедры ГЭМ разработаны способы и устройства для реализации перспективной схемы перекрестного резания, проведены экспериментальные исследования, подтверждающие её эффективность [3–6]. Предложенные конструкции планетарно-дисковых исполнительных органов предусматривают необходимость внесения изменений в кинематические схемы приводов и компоновку редукторов при установке на комбайны «Урал». Наименьшие отличия от серийно выпускаемых исполнительных органов имеет пространственный планетарный орган с наклоном режущих дисков относительно плоскости симметрии (рис. 1).

Конструкция предлагаемого исполнительного органа состоит из дисков 1 и 3, вращающихся в противоположные стороны и установленных под углом к плоскости симметрии 2, образованной продольной осью органа разрушения и прямой, проведенной через центры резцовых дисков. Резцы 7 поворотного диска 1 разрушают массив последовательными тангенциально-радиальными резами, идущими от периферии к центру забоя. Резцы диска 3 реализуют радиально-тангенциальные резы от центра к

периферии забоя. Вращающий момент на диски 1, 3 передаётся раздаточным редуктором 4 и поворотными редукторами 5. Центральная часть забоя обрабатывается забурником 6.

Техническим результатом способа разрушения является создание на поверхности калийного массива сетки пересекающихся резов (рис. 2) за счет разнонаправленного вращения и переносного движения наклонно установленных дисков; снижение напорного усилия комбайна и необходимой тяговой способности гусеничного органа перемещения [6].

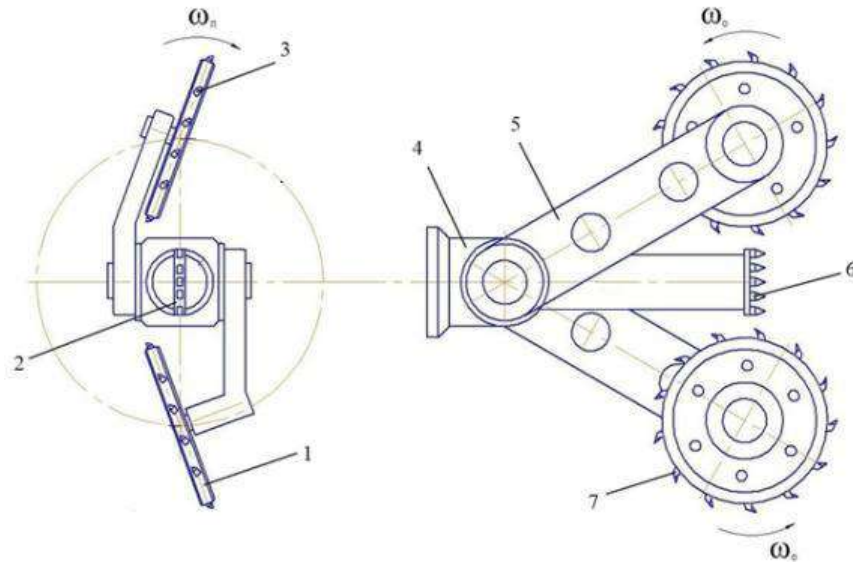


Рис. 1. Схема планетарно-дискового исполнительного органа с наклоном резцовых дисков относительно плоскости симметрии

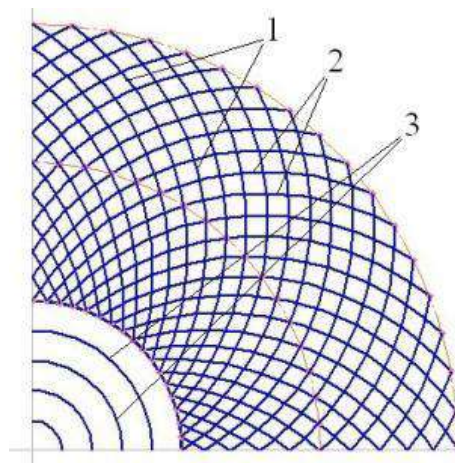


Рис. 2. Схема резания планетарно-дискового исполнительного органа с наклоном резцовых дисков относительно плоскости симметрии:

1, 2 – резы вращающихся в противоположные стороны дисков; 3 – резы забурника

Работа приводов относительного вращения резцовых дисков комбайна «Урал» характеризуется высоким уровнем динамических нагрузок. В то же время, замеры мощностей, потребляемых двигателями указанных комбайнов, показывают, что при максимальной загрузке приводов относительного движения двигатель переносного вращения загружен не более чем на 40 % [7].

Замена трехдвигательного привода планетарно-дискового исполнительного органа комбайнов «Урал-20» и «Урал-10» на двухдвигательный позволит снизить динамические

нагрузки в быстроходных редукторах примерно в 2 раза, упростить компоновку, упорядочить и повысить эффективность процесса разрушения массива. Последнее преимущество обусловлено наличием жесткой кинематической связи переносного и относительного движения резцовых дисков, которая обеспечивает возможность расположения резов второго диска посередине резов первого диска.

Резцы отбойного устройства и бермового органа комбайна разрушают массив резами небольшой глубины с повышенными энергозатратами и выходом мелких фракций. Удельный расход энергии в 2–2,5 раза больше, чем при использовании резцовых дисков.

Повышение эффективности процесса разрушения массива вспомогательными органами возможно обеспечить посредством перехода с последовательной схемы разрушения массива полублокированными резами на шахматные резы. Для реализации шахматной схемы резания необходимо использовать двухзаходные шнеки. Результаты экспериментальных исследований показывают, что при разрушении массива шахматными резами глубиной 5 мм, по сравнению с последовательными резами той же глубины, удельные энергозатраты снижаются с 6 до 3,2 кВт·ч/м<sup>3</sup>, выход мелких классов сокращается с 6,5 до 5 % [2].

Замена однозаходных шнеков комбайнов «Урал» на двухзаходные обеспечит более равномерное поступление горной массы на конвейер комбайна, снижение её циркуляции и затрат энергии на переизмельчение руды. Повышению эффективности погрузки руды может быть обеспечено посредством установки за шнеком вспомогательных зачистных устройств – лемехов [8, 9].

Использование перспективных конструкций планетарно-дисковых исполнительных органов, реализующих перекрестную схему разрушения, и переход с последовательной на шахматную схему резания вспомогательными исполнительными органами позволит существенно снизить удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива и уменьшить количество необогатимых классов в отбитой руде. Замена трехдвигательного привода планетарного органа на двухдвигательный с реализацией кинематической связи относительного и переносного движения резцовых дисков обусловит снижение динамических нагрузок и повышение стабильности резов. Снижение энергозатрат и уменьшение излишнего измельчения руды при погрузке возможно посредством применения двухзаходных шнеков и установки зачистных лемехов.

#### **Список литературы:**

1. Долгов В.Л. Совершенствование плоско-планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов. – В кн.: Горная электромеханика и механизация горных работ. М.: Недра, 1969. С. 188–193.
2. Харламова Н.А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом// Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Пермь: ПГТУ, 1998. 173 с.
3. Патент РФ № 2375571. Способ разрушения массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, А.Н. Чистяков, В.В. Семенов, Д.И. Шишлянников, ОАО «Сильвинит»; опубл. 10.12.2009.
4. Патент РФ № 2465458. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, Г.Д. Трифанов, ПНИПУ; опубл. 27.10.2012.
5. Патент РФ № 2460882. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, ООО «РКЦ»; опубл. 10.09.2012.
6. Патент РФ № 2522111. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников, ПНИПУ, опубл. 10.07.2014.
7. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резами исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» // Известия вузов. Горный журнал. 2013. №6. С. 103–107.

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

8. Чекмасов Н.В., Сидякин Д.А. Определение рациональных параметров шнекового грузчика // Горное оборудование и электромеханика. 2010. №7. С. 52–53.

9. Миничев В.И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. М.: Машиностроение, 1976. 248 с.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ РОТАТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*М.Г. Цапович, студент гр. 0781*

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

Изобретение относится к машиностроению, а именно к созданию насосов, компрессоров и двигателей. Технический результат заключается в возможности создания ротативного двигателя внутреннего сгорания со сниженными вибра нагруженностью и массогабаритными показателями.

Что из себя представляет ротативный двигатель... Это двигатель внутреннего сгорания, в котором цилиндры с поршнями (их нечетное количество) расположены радиально в виде звезды, обычно четырехтактный.

Рабочее топливо — бензин, воспламенение происходит от свечей зажигания.

По внешнему виду он очень похож на появившийся практически одновременно с ним и хорошо нам сегодня известный радиальный (звездообразный) поршневой двигатель. Но это только в неработающем состоянии.

Впервые в истории патент на ротативный двигатель получил французский изобретатель в 1888 году. Тогда этот двигатель поставили на мотоцикл. Развитие авиации в эти годы способствовало тому, что двигатели данного типа нашли свое применение в авиации.

Есть две основные особенности, которые и являются его главными положительными качествами:

1. Малый (по тому времени) вес по сравнению с двигателями той же мощности (Это достигалось за счет отсутствия маховика. Роль маховика выполняет сам двигатель, так как в процессе работы одновременно с винтом вращается и блок цилиндров. Вал, относительно которого происходит вращение закреплен неподвижно.)

2. Хорошее охлаждение (вращался сам двигатель, и цилиндры хорошо обдувались воздухом).

Такие двигатели отличались плавностью и равномерностью хода.

Расцвет ротативных двигателей пришелся на первую мировую войну в области авиации.

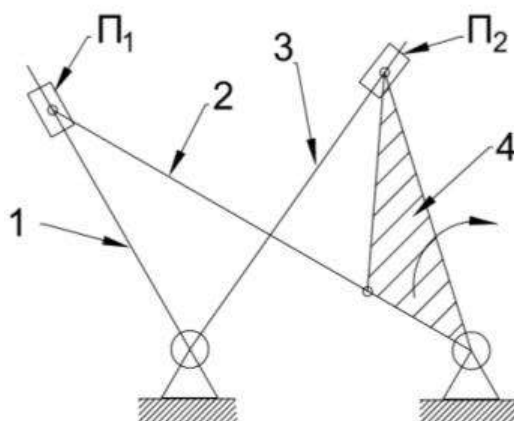


Рис. 1. Двухцилиндровый ротативный двигатель

На рисунке 1 представлена схема ротативного двухцилиндрового двигателя.

Движение начинает звено 4 (коромысло). Наклоняясь против часовой стрелки, оно приводит в движение ползун 2, опуская его по звену 3, при этом, с помощью звена 2

(шатуна), звено 4 толкает ползун 1 вверх по звену 1. Затем, наклоняясь в другую сторону, звено 4 опускает ползун 1 и поднимает ползун 2 и т.д. Таким образом, взаимными погашениями равномерных ускорений и равномерных замедлений пары цилиндр – цилиндр или поршень – поршень, достигается равномерность хода ротативного двигателя. Это резко повышает КПД и улучшает характеристики холостого хода.

Количество цилиндров в таком типе двигателей влияет на мощность и, соответственно, на изнашиваемость механизма. Поэтому при их эксплуатации нужны регламентные работы по балансировке или механизмы для автоматической балансировки двигателя.

Недостатки ротативных двигателей (на период 1910 года)

1. Ограничение роста крутящего момента и мощности.
2. Очень большой расход масла. Связано с трудностью откачки масла из вращающегося картера.

#### **Список литературы:**

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин // 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Теория механизмов и машин: Учебн. пособие по выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей всех видов обучения / Горбенко В.Т., Горбенко М.В. и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.



## **СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА**

### **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УЭЦН В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*С.Н. Кладиев, к.т.н., доц.,  
Т.Е. Борисенко, студент группы 5А6К  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555  
E-mail: [boriska70ru@gmail.com](mailto:boriska70ru@gmail.com)*

Технологический процесс извлечения нефти сопровождается большими трудностями, которые значительно осложняют ее добычу. Поэтому в ряду главных задач для компаний нефтяной отрасли, является уменьшение негативного влияния объективных и субъективных факторов, осложняющих добычу трудноизвлекаемых нефтяных суспензий, что позволит значительно повысить эффективность процесса добычи и сократить затраты.

К основным осложняющим факторам относятся:

– засорение и истирание электроцентробежных насосов (ЭЦН) абразивными частицами в скважинах после гидравлического разрыва пласта (ГРП) или частицами горных пород;

- отложения неорганических солей на рабочих органах ЭЦН;
- значительная вязкость добываемой нефти из-за наличия парафинов;
- значительная коррозия технологического оборудования в скважине;
- наличие примесей механической природы на работу ЭЦН;
- сложности эксплуатации насосов в искривленных скважинах;
- наличие газовых включений в нефтяной смеси;

– образование газовых гидратов и почих твердых отложений при добыче нефти и газа.

При использовании установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) уже при добыче средневязкой нефти начинаются технологические трудности и осложнения. Существует большое количество разнообразных методов борьбы с негативными факторами. Но они компенсируют влияние только одного из них. Однако при этом, процесс уменьшения действия одного из них неизбежно усиливает действие других. Но всё же существует один метод, который можно считать приемлимым в данном случае, поскольку позволяет уменьшить отрицательное действие на технологический процесс большинства осложняющих факторов. Это кратковременная эксплуатация скважин (КЭС).

Данный режим работы, с включением ЭЦН в течение малого интервала времени, которое не сопровождается достижением допустимой температуры электрооборудования, за которым следует пауза в работе, в течение которой насос не работает и охлаждается до температуры окружающей среды или температуры охлаждающего агента.

Указанный способ эксплуатации нефтедобывающих скважин объединяет возможности непрерывного режима работы УЭЦН с частотно-регулируемым электроприводом и повторно-кратковременного режима работы. Производительность труда при добыче нефти увеличивается примерно на 10...15 %, межремонтный период работы (МРП) оборудования скважины также растет в 1,5...2 раза, а потребление электроэнергии в 2...3 раза снижается.

Цена за данные преимущества невелика – незначительный рост стоимости оборудования УЭЦН. Время откачки нефтяной смеси в 3...10 минут и остановка насоса для её накопления в малодебитной скважине в течение 10...60 минут позволяет изменять её динамический уровень на 10...30 метров. При этом лишь незначительно меняется

интенсивность постоянно поступающей пластовой жидкости в скважину. Производительность УЭЦН может меняться в 4...5 раз без увеличения мощности и габаритов насосного оборудования только за счёт изменения продолжительности его рабочего цикла, то есть изменения соотношения времени откачки и накопления [1].

«...Кратковременная эксплуатация скважин с уменьшением рабочего цикла уменьшает воздействие на оборудование ударных электрических, механических и гидравлических пусковых нагрузок, путём плавного частотного пуска при помощи преобразователей частоты (ПЧ), входящих в состав станций управления УЭЦН ... [1]». Наземное электрооборудование при кратковременной эксплуатации скважин имеет большую стоимость, но увеличение капитальных затрат практически компенсируется снижением стоимости оборудования, погружаемого непосредственно в скважину. «...При уменьшении габаритов ПЭД и ЭЦН уменьшается время и повышается качество монтажа УЭЦН на скважинах, что дополнительно сокращает затраты ... [1]».

Эффективная работа УЭЦН с КЭС мало зависит от кривизны ствола скважины, что особенно важно при добыче нефти кустовым способом. В непрерывном режиме работы скважинного оборудования увеличение производительности УЭЦН неизбежно приводит к повышенному его износу, который зависит от частоты вращения ротора насоса. Кратковременный режим работы нефтедобывающего оборудования скважин позволяет увеличить межремонтный период работы (МРП) насоса за счёт частичного его нагружения в цикле. Механические примеси, содержащиеся в добываемой нефтяной эмульсии и интенсивное солеотложение в ЭЦН приводят к заклиниванию его рабочих органов.

Станция управления УЭЦН «Электон», с системой скалярного частотного управления может реализовать режим расклинивания насоса с использованием «наблюдателей» переменных состояния системы и алгоритмов управления, т.е. продолжать эксплуатацию скважин без простоев и подъема добывающего оборудования [1, 2]. Применение кратковременного режима работы оборудования УЭЦН повышенной производительности позволяет не только увеличить МРП работы, но и значительно снизить расход электроэнергии. Высокий КПД имеют только ЭЦН высокодебитных скважин с добычей более 80 м<sup>3</sup>/сут. С уменьшением подачи КПД ЭЦН резко падает. Например, насос ЭЦНА5-18 имеет максимальный КПД 28,5 %, а ЭЦНА5-125 – 59 %. Поэтому использование КЭС скважин с дебитом 20...50 м<sup>3</sup>/сут. с помощью УЭЦН производительностью более 100 м<sup>3</sup>/сут. сокращает расход электроэнергии в 1,5...2 раза по сравнению с непрерывной эксплуатацией скважин установками с производительностью, соответствующей их дебиту [1, 3].

Конечно метод повторно-кратковременной эксплуатации нефтяных добывающих скважин не является панацеей в борьбе с неблагоприятными факторами, возникающими при их эксплуатации и осложняющими процесс добычи нефти в тяжелых условиях. Однако при этом появляется возможность уменьшить проявления негативных факторов при нефтедобыче в осложненных условиях Западной Сибири, а в некоторых случаях – полностью нейтрализовать их [1].

#### **Список литературы:**

1. Кратковременная эксплуатация скважин для добычи вязкой нефти с помощью УЭЦН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/booty/331687-kratkovremennaya-ekspluatatsiya-skvazhin-dlya-dobychi-vyazkoy-nefti-s-pomoshchyu-uetsn/> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 10.09.2019/
2. Разработка наблюдателя полного порядка с оперативным мониторингом момента сопротивления для погружных асинхронных электродвигателей / А. С. Глазырин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов /

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2018.  
– Т. 329, № 2. – [С. 118-126].

3. Кратковременная эксплуатация скважин – уникальный способ борьбы с осложняющими факторами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/kratkovremennaya-ekspluatatsiya-skvazhin-unikalnyy-sposob-borby-s-oslozhnyayuschimi-faktorami> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения:/ 10.09.2019/

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ РУЛЕВОЙ РЕЙКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Н.П. Брага, студент гр. 5А6К*  
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*  
*тел. (3822)-444-555*  
E-mail: [npb4@tpu.ru](mailto:npb4@tpu.ru)

В результате эволюции автомобилестроения масса автомобилей увеличивалась, в силу ряда причин, вместе с этим увеличилась и нагрузка на управляемые колеса. Это привело к более трудному управлению автомобилем. Также увеличились скорость движения авто, поэтому требования к точности и быстродействию рулевого управления стали более жесткими. Для упрощения управления и удовлетворению новых требований в автомобилях стали применять усилители рулевого управления, которые повышают комфорт управления [1].

Усилители рулевого управления классифицируют в зависимости от принципа работы и устройства [2]. Различают три типа усилителей рулевого управления: гидравлические; электрогидравлические; электромеханические.

На сегодняшний день наиболее распространены электромеханические усилители руля (ЭМУР) в силу преимуществ перед гидравлическими и электрогидравлическими. Основным элементом ЭМУР является двигатель.

Преимущества ЭМУР перед другими усилителями:

- простота конструкции;
- высокая надежность в следствие простоты конструкции, а также отсутствия рабочей жидкости;
- компактность механизма;
- высокий коэффициент полезного действия электродвигателя по сравнению с гидравлическим насосом;
- приводится в действие только при повороте руля (в случае использования гидравлического усилителя руля (ГУР), гидравлический насос находится в постоянной работе);
- более простой в эксплуатации и обслуживании;
- «симметричность» рулевого управления (одинаковый коэффициент усиления влево и вправо);
- нет сложностей в эксплуатации усилителя в холодное время года ввиду отсутствия рабочей жидкости.

Недостатки ЭМУР: низкая мощность; трудности настройки системы управления при проектировании нового автомобиля; при поломке усилитель заменяется единым сборным узлом.

Принцип действия электромеханического усилителя руля заключается в следующем. ЭМУР в отличие от ГУР питается от бортовой сети автомобиля. В момент, когда двигатель создает усилие, которое помогает водителю при повороте руля, потребляемый ток может достигать более 50 А. Поэтому на автомобилях с ЭМУР работа электродвигателя ограничена или невозможна при незапущенном ДВС во избежание разряда аккумулятора. За работоспособностью ЭМУР следит микроконтроллер. При повороте ключа в зажигании контроллер включается, после этого производится тестирование на предмет ошибок. В случае если обнаружены неисправности, усилитель прекращает свою работу. Если же ошибок не выявлено, усилитель переходит штатный режим работы, при котором компенсирует усилие, прилагаемое к рулевому колесу.

На рисунке 1 представлено три варианта исполнения ЭМУР [3].

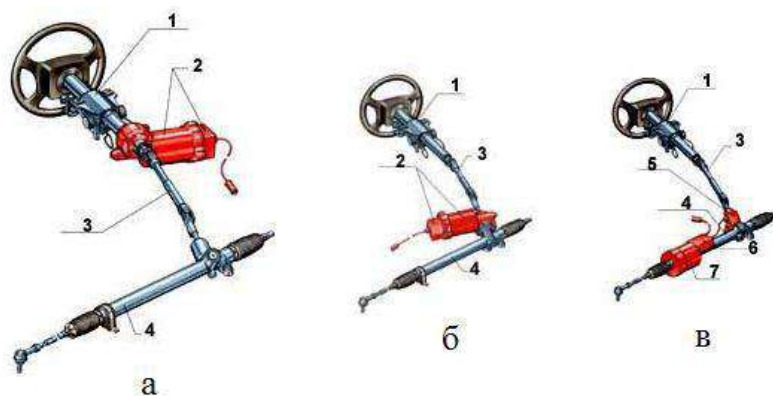


Рис. 1. Схема вариантов исполнения ЭМУР

где: а – авто низкого класса, б – авто среднего класса, в – авто высокого класса – привод ЭМУР выполнен заодно с рулевой рейкой.

1 – рулевая колонка; 2 – электромеханический усилитель руля с червячной передачей и блоком управления; 3 – промежуточный вал; 4 – реечный рулевой механизм; 5 – следящее устройство с торсионом; 6 – электронный блок управления; 7 – электрический привод.

В нормальном режиме работы контроллер непрерывно получает данные от датчиков момента и положения ротора двигателя. При обработке полученной информации на усилитель поступают данные о направлении и величине усилия, которое прикладывается к рулю. После чего контроллер вырабатывает управляющий сигнал, поступающий в статор двигателя.

При увеличении скорости автомобиля, сила трения между шинами и дорожным покрытием уменьшается, поэтому для обеспечения безопасного управления автомобилем необходимо уменьшать компенсирующее усилие, создаваемое электромеханическим усилителем. За этим следит контроллер: через отдельный вход он получает данные о скорости движения. В результате компенсирующее усилие уменьшается при увеличении скорости автомобиля. Зависимость между компенсирующим усилием и скоростью носит сложный характер и определяется индивидуально для каждой модели автомобиля.

Таким образом: главным направлением в области разработки усилителей рулевого управления на сегодняшний день является оптимизация законов управления контроллера, который позволил бы точнее обрабатывать и подавать сигналы для более комфортного, точного и безопасного управления автомобилем на высокой скорости и неблагоприятных покрытиях.

#### Список литературы:

1. Королев В.В. Система электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля: дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тольятти, 2005. 188 с.

2. Косолапов А.В. Выбор модели усилителя рулевого управления автомобиля / Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции / Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), Краснодар, 2015.

3. Авто сайт для автолюбителей // Устройство гидроусилителя и электроусилителя руля. Режим доступа: [http://amastercar.ru/articles/steering\\_mechanism\\_2.shtml](http://amastercar.ru/articles/steering_mechanism_2.shtml); (дата обращения 14.10.2019).

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

4. Прохоров В.А., Девичкин О.В. Электроусилитель рулевого управления автомобилем // Известия Московского государственного машиностроительного университета МАМИ. 2014, № 2, С. 58-61.

## ТЯГОВЫЙ ПРИВОД ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

*И.А. Григорьев, студент гр. 5А6К  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел. +7 (3822) 705-014  
E-mail: [iag20@tpu.ru](mailto:iag20@tpu.ru)*

Гибридный автомобиль – это колесное транспортное средство имеющее силовую установку из двух двигателей: электрического двигателя и двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Основным преимуществом использования таких автомобилей является существенная экономичность и экологичность [1]. А также сокращение топливных расходов, снижение вредного воздействия на окружающую среду, уровня шума, и безопасность [2]. Но у такого транспортного средства есть и особенные недостатки. Из-за наличия аккумуляторных батарей меняется развесовка автомобиля, за счет смещения его центра тяжести в нижнюю часть кузова, что не может не отразиться на управляемости и характере езды. Связано это в первую очередь с тем, что аккумуляторные батареи, в целях экономии подкапотного и багажного пространства производители монтируют в нижнюю часть автомобиля, по всей его длине и ширине. Также стоит острая проблема снижения ресурса аккумуляторных батарей в холодное время года и при эксплуатации в условиях крайнего севера. Поскольку это приводит к некоторым трудностям, связанным с пуском автомобиля и сокращением запаса его хода.

Есть три варианта подключения двигателей у гибридного автомобиля: последовательный, параллельный, смешанный [3]. Особенность последовательной схемы в том, что маломощный ДВС соединен напрямую только с электрогенератором. Двигатель внутреннего сгорания приводит этот генератор в движение, отчего вырабатывается электроэнергия, которая потом поступает к аккумуляторным батареям. Батареи, в свою очередь, обеспечивают питанием электродвигатель. В такой схеме главной движущей силой выступает электромотор. Автомобиль при этом движется только на электротяге. Плюс этой схемы в том, что ДВС работает на постоянных оборотах и с максимальным коэффициентом полезного действия, автомобиль способен передвигаться без ДВС на запасенной энергии. Два существенных минуса в том, что есть большие потери на каждом этапе преобразований, большие габариты аккумуляторной батареи.

Последовательная схема представлена на рис.1.



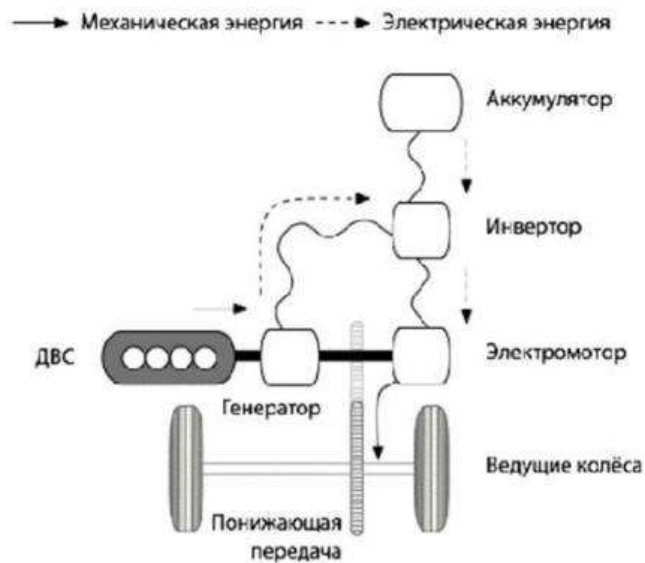


Рис. 1. Схема последовательного подключения

Особенность работы в параллельном режиме заключается в том, что ДВС и электромотор работают совместно. Электродвигатель должен быть обратимым, т.е. совмещать в себе функции генератора. Работа двух моторов контролируется компьютерным блоком управления. Данный блок управления способен распределять крутящий момент сразу от двух двигателей. Основную работу в данном случае выполняет ДВС. Электромотор нужен при трогании транспортного средства с места, и при его ускорении. Во время торможения и замедления он переходит работать в генераторный режим.

Плюс такого технического решения в том, что конструкция становится дешевле по сравнению с последовательной схемой подключения. Минус – меньшая топливная экономичность.

Параллельная схема представлена на рис.2.

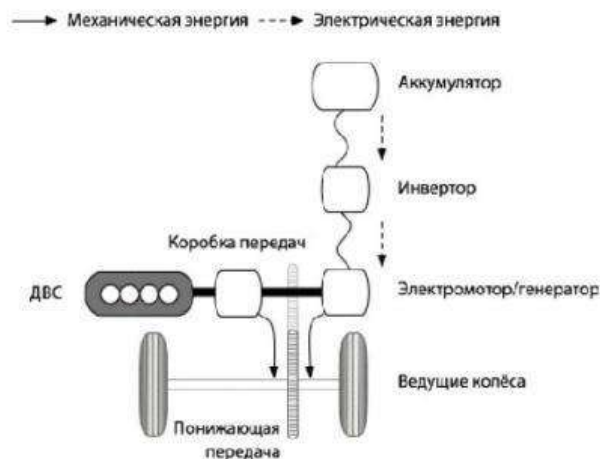


Рис. 2. Схема параллельного подключения

Смешанная схема представляет из себя совокупность последовательной и параллельной схем. Иными словами, в параллельную схему добавлен дополнительный генератор. Но такая конструкция более сложная по исполнению и дороже.



**Выводы:**

Недостаток эксплуатации аккумуляторной батареи в суровых климатических условиях с температурой ниже нуля градусов можно решить при помощи систем подобных системе предпускового подогрева двигателя, которую используют в автомобилях с ДВС. А само устройство можно реализовать на базе продукта *Webasto*. Таким образом, при успешной реализации данной системы на практике в гибридных автомобилях можно обеспечить устойчивую рабочую температуру, требуемую для надлежащей эксплуатации аккумуляторной батареи, и тем самым избежать быстрого разряда батареи.

**Список литературы:**

1. Тяговый привод транспортного средства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/5-97858.html>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: /10.09.2019 г.
2. Рейтинг лучших новых гибридных автомобилей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rating-avto.ru/cars/gibridnyie-avtomobili.html>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: /10.09.2019 г.
3. Гибридная силовая установка. Схемы. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://eightnthr.appspot.com/gibridnaya-silovaya-ustanovka-shema.html>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: /10.09.2019 г.

## КОНВЕЙЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

*Г.В. Илющенко, студент гр. 5А6К*  
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,*  
*тел. +7 (3822) 705-014*  
E-mail: [gvi4@tpu.ru](mailto:gvi4@tpu.ru)

**Конвейерная система** – это часть механического погрузочно-разгрузочного оборудования, перемещающая определенные объекты из одного места в другое, согласно поставленной предприятием цели. Такие системы особенно полезны в транспортировке тяжелых или громоздких материалов. Конвейерные системы позволяют быстро и эффективно транспортировать самые разнообразные материалы, что делает их очень популярными при погрузочно-разгрузочных работах и упаковке в различных отраслях промышленности. Они также имеют широкое применение в нашей жизни, так как их часто можно встретить в супермаркетах и аэропортах. Такие факторы, как растущая индустриализация, необходимость автоматизации для снижения производственных затрат и повышения эффективности производства двигают многие отрасли индустрии в сторону внедрения конвейерных систем. На данный момент существует множество видов данного рода систем, которые используются согласно различным потребностям различных индустрий [2].



Рис. 1. Конвейерная система

При выборе систем такого рода нужно учитывать множество факторов и важно заранее знать, как будет использоваться конвейерная система. В некоторых отдельных областях являются необходимыми определенные операции конвейера, такие как транспортировка, накопление и сортировка по размерам материала, весу и форме, а также определенные точки загрузки и подбора.

Что касается роста, то производители погрузочно-разгрузочных работ и конвейерных систем получают максимальную отдачу в таких отраслях промышленности, как автомобилестроение, фармацевтика, упаковка и в различных производственных предприятиях. Использование портативных конвейеров также быстро растет в строительном секторе, и в будущем уровень закупок для конвейерных систем различных странах мира, вероятно, будет расти еще больше. Наиболее часто закупаемые типы конвейеров - это линейный валовой роликовый конвейер, цепные конвейеры и конвейерные ленты на упаковочных фабриках и промышленных предприятиях, где

обычно осуществляется сортировка и контроль продукции. Коммерческий и гражданский секторы все чаще внедряют конвейеры в аэропортах, торговых центрах и т.д. [2]

Расположение привода конвейерных систем определяет, как и где установлен привод, включая двигатель. Можно выбрать положение привода в начале или конце конвейера, над или под рамкой конвейера, слева или справа. Головная передача расположена на разгрузочном конце транспортера и вытягивает средство передвижения, например, конвейерную ленту. Это самое распространенное, самое безопасное и самое доступное положение привода. Приводы, известные как нижние ременные приводы или центральные приводы, могут быть установлены в различных местах ниже уровня транспортировки. Основное применение для этих приводов - реверсивная работа (реверсивное направление транспортировки). Можно достичь фиксированной длины установки, выбрав конструкцию с натяжным роликом в центральном приводе. Поскольку обычно используются два поворотных ролика, этот привод также называется омега-приводом. Еще одним преимуществом этого привода является возможность установки ограничителей на концах подачи для разгрузки для перемещения небольших продуктов.

В некоторых случаях возникают дополнительные требования по обеспечению плавного пуска, предотвращению пробуксовывания ленты, небольшому регулированию скорости и согласованному вращению нескольких электроприводов. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым или с фазным ротором [1].

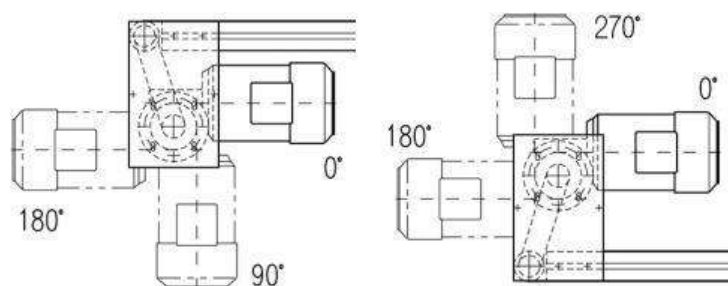


Рис.2. Разные вариации положения двигателя

Как показано на рисунке 2, ориентация двигателя может варьироваться между  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  и  $270^\circ$ . Если заказчик не указывает расположение привода, то привод подается на разгрузочную часть, с левой стороны, ниже конвейера и с ориентацией двигателя [1].

Подводя итоги, хочется отметить, что конвейерные системы получили широкое распространение во множестве отраслей промышленности благодаря многим преимуществам, которые они обеспечивают:

- Конвейеры помогают безопасно транспортировать материалы с одного уровня на другой, что при выполнении человеческого труда было бы трудоемким и дорогостоящим.
- Использование конвейерных систем более безопасно, чем устройств для перемещения целевых объектов, например, грузоподъемников. Также несомненным преимуществом является то, что их можно установить почти везде.
- Они могут перемещать грузы любых форм, размеров и веса. Кроме того, многие из них имеют расширенные функции безопасности, которые помогают предотвратить несчастные случаи.
- Существует множество вариантов работы транспортных систем, включая гидравлические, механические и полностью автоматизированные системы, которые оснащены в соответствии с индивидуальными потребностями.

#### Список литературы:

1. MK TECHNOLOGY GROUP. Drives for conveyor technology [Электронный ресурс].  
– Режим доступа: (Свободный) <https://www.mk-group.com/en/products/conveyor-technology/conveying-systems/accessories-conveyors/drives.html>. Дата обращения 18.10.2019

**THOMAS FOR INDUSTRY. Understanding Conveyor Systems [Электронный ресурс]. –  
Режим доступа: (Свободный) <https://www.mk-group.com/en/products/conveyor-technology/conveying-systems/accessories-conveyors/drives.html>**

## ЛИТИЙ-ИОННЫЙ АККУМУЛЯТОР TESLA

*И.О. Казаков, студент гр. 5А6К  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел. +7 (3822) 705-014  
E-mail: [iok8@tpu.ru](mailto:iok8@tpu.ru)*

*Tesla Powerwall* – это полностью интегрированная аккумуляторная система переменного тока для жилого и легкого коммерческого использования. Она имеет перезаряжаемый литий-ионный блок батарей, обеспечивающий накопление энергии для солнечного собственного потребления. Также контроль на основе времени и резервное копирование.

Электрический интерфейс *Powerwall* может быть подключен к любому дому или зданию.

В идеале они могли бы хранить дневную солнечную энергию, чтобы самостоятельно потреблять ее ночью, но батареи, которые в настоящее время на рынке, оставляют желать лучшего. В основном, они слишком дорогие. Затраты могут достигать \$600 за кВт/ч хранение при \$100 за кВт / ч. Для сравнения, средняя американская семья использует около 30...40 кВт·ч в день. По состоянию на апрель 2016 года средняя стоимость жилья для питания из сети составляла 12,35 центов за кВт·ч, около \$3,71 в день

Подобно обычным аккумуляторам в вашей камере или сотовом телефоне, эти элементы могут заряжаться много раз, прежде чем они иссякнут. Это дает бытовым и промышленным батареям срок службы около 3-10 лет и сохраняет высокую стоимость батареи.

**Установка.** Для установки данной батареи, надо освободить землю, стены и главные точки подхода для установителей для работы. Минимальные зазоры, необходимые для установки *Powerwall* и Резервного шлюза, показаны ниже.

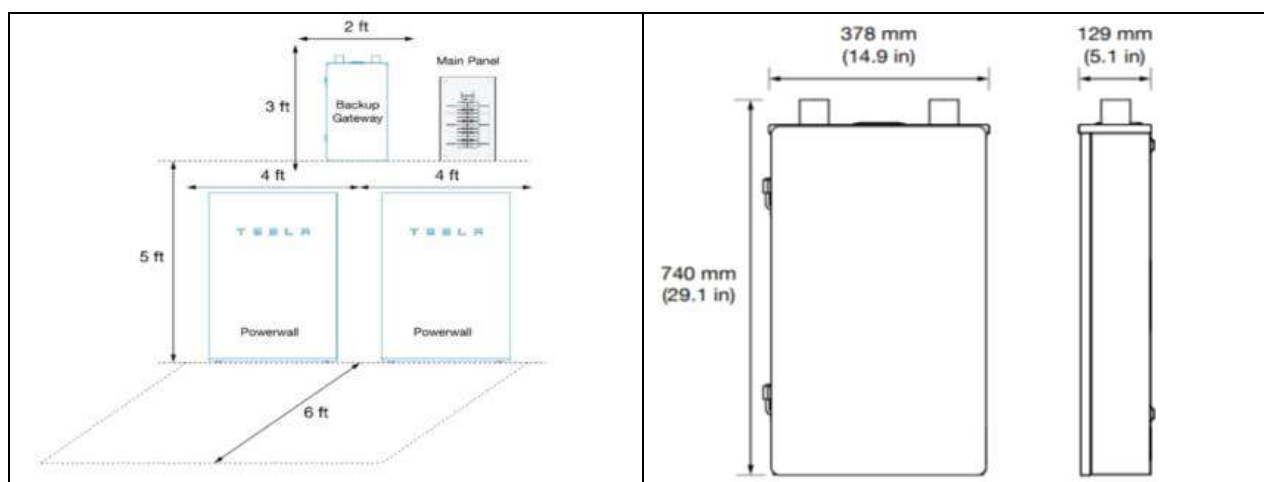


Рис. 2. Габариты для установки и самой батареи

*Powerwall* нужно подключение (проводное или беспроводное), что позволяет контролировать вашу систему *Powerwall* используя приложение *Tesla*. Данные батареи могут накапливать энергию и работать с солнечной энергией и без нее. Каждая система

имеет хотя бы один Powerwall и шлюз Tesla, с помощью которых можно контролировать процесс, измерение, распределение энергии.

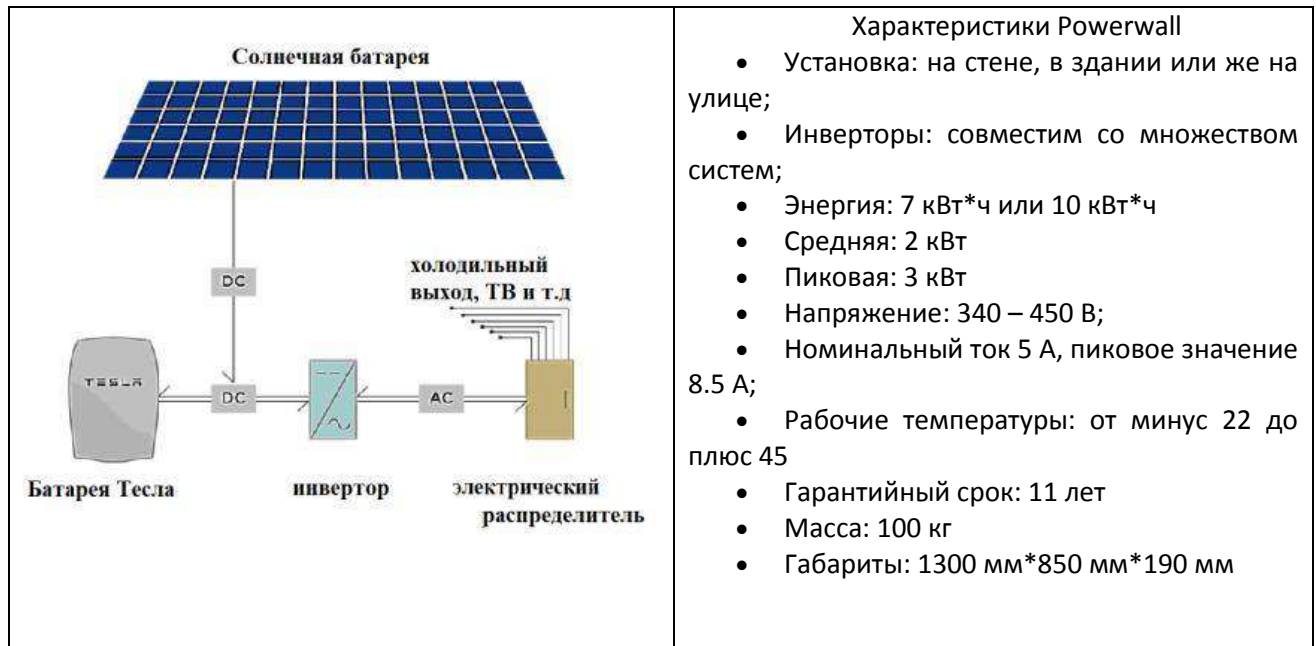


Рис. 2. Схема установки

Представленные аккумуляторы *Tesla Powerwall* выставлены в двух модификациях емкостью 7 и 10 кВт·ч по цене **\$3100** и **\$3600** соответственно. В случае, если потребитель чувствует недостаток в емкости, есть вариант нарастить суммарную емкость вплоть до 90 кВт·ч (допускается подключение до 9 батарей).

#### Выводы:

Предложение компании Tesla – это весомый шаг в будущее, однако для нашего пользователя, цена на Tesla Powerwall не является экономически выгодной. Имеются достаточное количество аналогов на рынке, к примеру, можно купить батарею от «Outback power», однако к ней необходимо купить устройство для автоматического переключения, заплатить мастеру за установку, так как на данный момент не совсем понятно, как интегрировать данную батарею в дом. Есть еще вариант со свинцовыми батареями, но весит они будут около тонны, занимать много места и доставлять трудности в виде пополнения жидкости. Оценив все эти критерии, *Tesla powerwall* будет выгодной в ближней перспективе, но не прям сейчас.

#### Список источников:

1. Energy sage. Tesla Powerwall: the complete battery review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/tesla-powerwall-home-battery/> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 23.09.2019/ Tesla Powerwall 2–SolarCity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://under35.me/2017/11/tesla-powerwall-2-all-we-know/> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 23.09.2019/

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*С.М. Мухан, студент гр. 5А6К*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел. +7 (3822) 705-014*

E-mail: [sabit.1998@mail.ru](mailto:sabit.1998@mail.ru)

На сегодняшний день мы попросту не можем представить жилые дома, торговые и бизнес центры без наличия лифта. Более 12 миллионов лифтов находятся в эксплуатации по всему миру, и ежедневно, лифтом пользуются порядка 1 миллиарда населения. Это делает лифты одним из самых используемых видов транспорта в мире. В настоящее время в современных зданиях устанавливают так называемые «интеллектуальные лифты», системы управления которыми используют передовые технологии, предлагающие повышенную безопасность, улучшенную энергоэффективность, и эффективное регулирование потоками пассажиров [1].

Одним из современных тенденций является связь лифта с информационной сетью. Возможность подключения лифта к Интернету – будущее в совершенствовании лифтового оборудования. Всё чаще поставщики лифтов устанавливают оборудования для связи в современные здания жилого и особенно промышленного назначения.

Это технология работает по принципу оповещения непосредственно компании (поставщика) о неисправностях, когда они появляются или возможно появятся, что непременно позволяет экономить время и средства на ремонт и техническое обслуживание.

Еще одной из современных тенденций является прогнозирующее обслуживание, работающее через облако (интернет-хранилище).

Собранные данные о неисправностях отправляются в облачное хранилище и анализируются. Если обнаруживаются эксплуатационные аномалии, то эта информация сравнивается со всеми имеющимися в базе данными поставщика лифта.

Далее проводятся сравнения, для определения того, указывают ли аналогичные показания на то, что какой-то из компонентов лифтового оборудования выйдет из строя. По времени, все это происходит в считанные секунды, и сервисные работники получают сообщения на своих устройствах в режиме реального времени, указывая на компоненты, которые следует заменить.

Работники компании, после получения всех неисправностей, могут эффективно исправить возникшую проблему, прежде чем лифтовое оборудование выйдет из строя, тем самым уменьшая время простоя. Эта система непрерывно контролирует и анализирует все данные лифта, такие как: состояние всех его встроенных компонентов, скорость разгона и торможения лифта, насколько быстро закрываются двери лифта и т.п.

В наше время придумываются еще больше необычных решений в области лифтового оборудования. Так, немецкая компания *ThyssenKrupp* придумала «умный лифт» без канатов, который может передвигаться как по вертикали, так и по горизонтали. Такие лифты, как правило изготавливаются из углеродного армированного пластика, двигаются по монорельсам и работают как линейные двигатели, используя магнитное поле для движения. Когда кабина лифта останавливается на каком-либо из этажей, рельсы могут поворачиваться, что даёт нам движение по горизонтали, в правую или левую сторону [2].





Рис. 1. Макет лифта с технологией линейного двигателя

Технология линейного двигателя может значительно улучшить совершенствование лифтов. Лифты с канатной конструкцией могут безопасно поднимать пассажиров до 500 м за один непрерывный отрезок, и для того чтобы подняться выше, дополнительно должно быть установлено множество подъемных шахт, которые будут занимать больше пространства в здании. Новая технология, работающая на базе рельсов с линейным двигателем, может решить эту проблему и увеличить полезную площадь здания до 25 процентов, а также позволит архитекторам воплощать в реальность здания в виде различных форм и стилей.

Главным недостатком этой технологии является дороговизна. Несмотря на расход энергии данной системой, которая на 60 процентов меньше чем обычные лифты, а также увеличением полезной площади сооружения, такой лифт обойдется застройщикам примерно в 5 раз дороже, чем стандартная канатная система. Но в ближайшем будущем эта технология будет одной из самых востребованных на рынке.

#### **Выводы:**

Применение современных технологий при проектировании механической части лифтовых подъемников, низкоскоростных исполнительных двигателей и особенно продвинутых цифровых микропроцессорных систем управления позволяют получить такие эксплуатационные свойства и характеристики, которые ранее не возможно было себе представить.

#### **Список источников:**

1. Eapen Jacob. Smart Elevators – Six Major Trends for 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arcweb.com/blog/smart-elevators-six-major-trends-2019> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 23.09.2019/
2. Jamie Condliffe. World`s First Cable-Free Elevator Zooms Horizontally and Vertically Using Maglev Tech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.technologyreview.com/s/608167/worlds-first-cable-free-elevator-zooms-horizontally-and-vertically-using-maglev-tech/> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 23.09.2019/



## СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В ТЯЖЕЛЫХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Н.Г. Перебаскин, аспирант гр. А8-28  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел. (3822)-606-333  
E-mail: [ngp1@tpu.ru](mailto:ngp1@tpu.ru)*

**Введение.** В настоящее время на нефтедобывающих промыслах Российской Федерации ведется добыча трудноизвлекаемых запасов. Обусловлено это, как и с точки зрения коэффициента нефтеотдачи, так и осложненными условиями, в которых производится добыча нефтяных ресурсов. В связи с этим остается актуальной задача по внедрению инноваций в производственно-технологический процесс [1].

Для эффективного извлечения нефтяных продуктов, преимущественно используют установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), которые оснащаются системами управления на базе преобразователей частоты (ПЧ). Но работа такой системы в осложнённых условиях ведет к функционированию оборудования в аварийных и тяжелых режимах. Под тяжелыми и аварийными режимами работы подразумевается то, что электроцентробежный насос (ЭЦН) работает с некоторым увеличением момента на валу, вплоть до точки срабатывания вставки защиты.

Увеличение момента исполнительного двигателя происходит из-за частичного или полного заклинивания ступеней погружного насоса. Заклинивание, как правило, возникает в результате засорения рабочих органов механическими примесями и образования солеотложения на них. Вывод УЭЦН из заклиненного состояния осуществляется так называемыми расклинивающими пусками. Они, в свою очередь, оказывают негативное воздействие на всю погружную систему: вызывают деградацию изоляции обмоток погружного электродвигателя (ПЭД) и кабеля вследствие перегрева, а также, при неудачной попытке расклинить установку, происходит срыв шпонок вала и падение погружного оборудования в скважину. Для дальнейшей эксплуатации скважины требуются дорогостоящие спуско-подъемные операции по замене оборудования.

**Проблема расклинивания УЭЦН.** Расклинивание УЭЦН – это сложный технологический процесс как с точки зрения прогнозирования состояния заклинивания, так и осуществления самой операции по расклиниванию и выводу ЭЦН на рабочую характеристику.

Для решения проблемы заклинивания рабочих узлов УЭЦН, управляемых с помощью ПЧ, в настоящее время применяют встроенные базовые алгоритмы [2]. Наиболее распространенными являются следующие режимы:

- увеличение величины питающего напряжения для осуществления толчкового пуска (рисунок 1а);
- запуск двигателя с «раскачкой», сначала в прямом направлении затем в обратном (рисунок 1б).

Однако, такие способы не удовлетворяют своей эффективностью. К тому же, перед началом процедуры по расклиниванию, необходимо иметь представление о значении момента статического сопротивления. В связи с чем, в работе [2] был произведен ряд улучшений существующих алгоритмов. Автор предлагает производить расчет параметров каждого толчка, таких как амплитуда и частота питающего напряжения, продолжительность действия толчка и паузы, с учетом контроля энергетических потерь в ПЭД. В случае безуспешной попытки расклинивания, производится следующая попытка,

при которой происходит увеличение момента, но уже при меньшем воздействующем периоде.

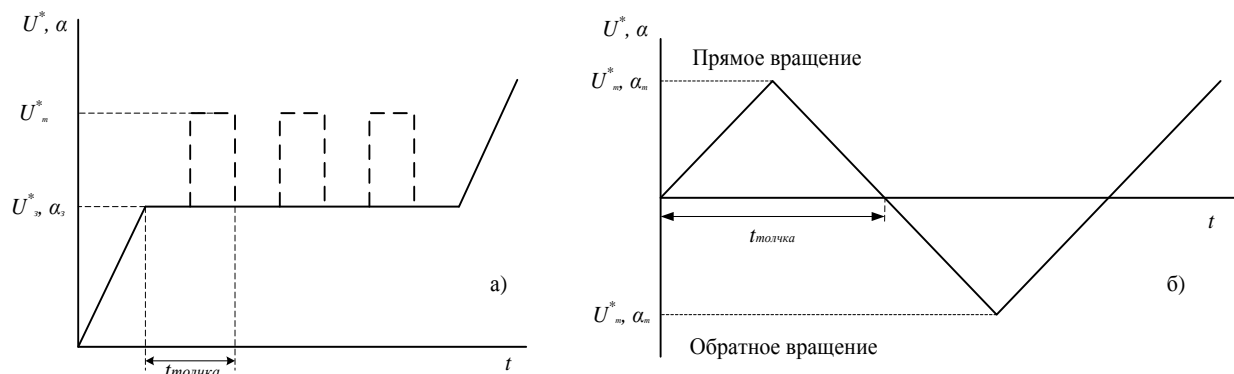


Рис.1. Основные алгоритмы расклинивания УЭЦН: «толчковый» (а), «реверсированием» (б)

**Недостатки существующих методов расклинивания.** В описанных выше способах отсутствует учет влияния расклинивающих толчковых моментов на колонну насосно-компрессорных труб (НКТ). Такие колебания, в свою очередь, вызывают усталостные напряжения, которые способствуют своевременному износу резьбовых соединений НКТ. В конечном итоге это приводит к падению оборудования в скважине. Помимо этого, в современных станциях управления ПЭД отсутствует возможность адекватно оценить состояние электродвигателя в момент расклинивания. Значения тока статора, выступающие в качестве сигнала обратной связи, обладают высокой погрешностью измерения и не позволяют в полной мере судить о динамике электропривода в момент аварии.

**Предлагаемые решения.** Необходимо усовершенствовать ранее разработанные способы расклинивания погружных установок. При этом необходимо учитывать влияние механических воздействий системы НКТ-УЭЦН.

Для предотвращения механических повреждений в системе НКТ-УЭЦН, в момент расклинивания предлагается разработать квалитетрический признак, который позволял бы оценивать негативное воздействие расклинивающих усилий на всю систему. Для этого необходимо сравнить две переменных состояния, характеризующих поведение НКТ. Затем проанализировать переходные процессы ранее описанных алгоритмов и предлагаемых путем гармонического анализа, и предложить эффективную альтернативу.

Момент и угловую скорость можно определять, минуя дорогостоящие датчики, которые, к тому же вызывают дополнительные трудности по их размещению внутри скважины. Для этого разработан косвенный метод, реализуемый на основе наблюдателя переменных состояний [3]. В этом случае достаточно сигналов с блока измерения токов и напряжений.

В результате вышеизложенного предлагается система расклинивания, указанная на рисунке 2. Опишем принципы ее функционирования. Для повышения качества питающего напряжения выполняется двойное преобразование электроэнергии: сначала напряжение выпрямляется с помощью неуправляемого трехфазного выпрямителя, затем выпрямленное напряжение подается на автономный инвертор напряжений (АИН), который управляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). С выхода АИН, трехфазное напряжение проходит через синус-фильтр, который выделяет основные гармоники тока и напряжений. После фильтрации гармонического состава, напряжение подается на повышающий трансформатор. В следующем звене устанавливаются датчики тока и напряжений, которые являются основным источником данных о состоянии ПЭД.

Затем, повышенное напряжение с помощью погружного кабеля подводится к обмоткам электродвигателя. Установка центробежного насоса закрепляется на валу ПЭД.

Система расклинивания основана на работе наблюдателя переменных состояний электродвигателя и датчика интенсивности момента.

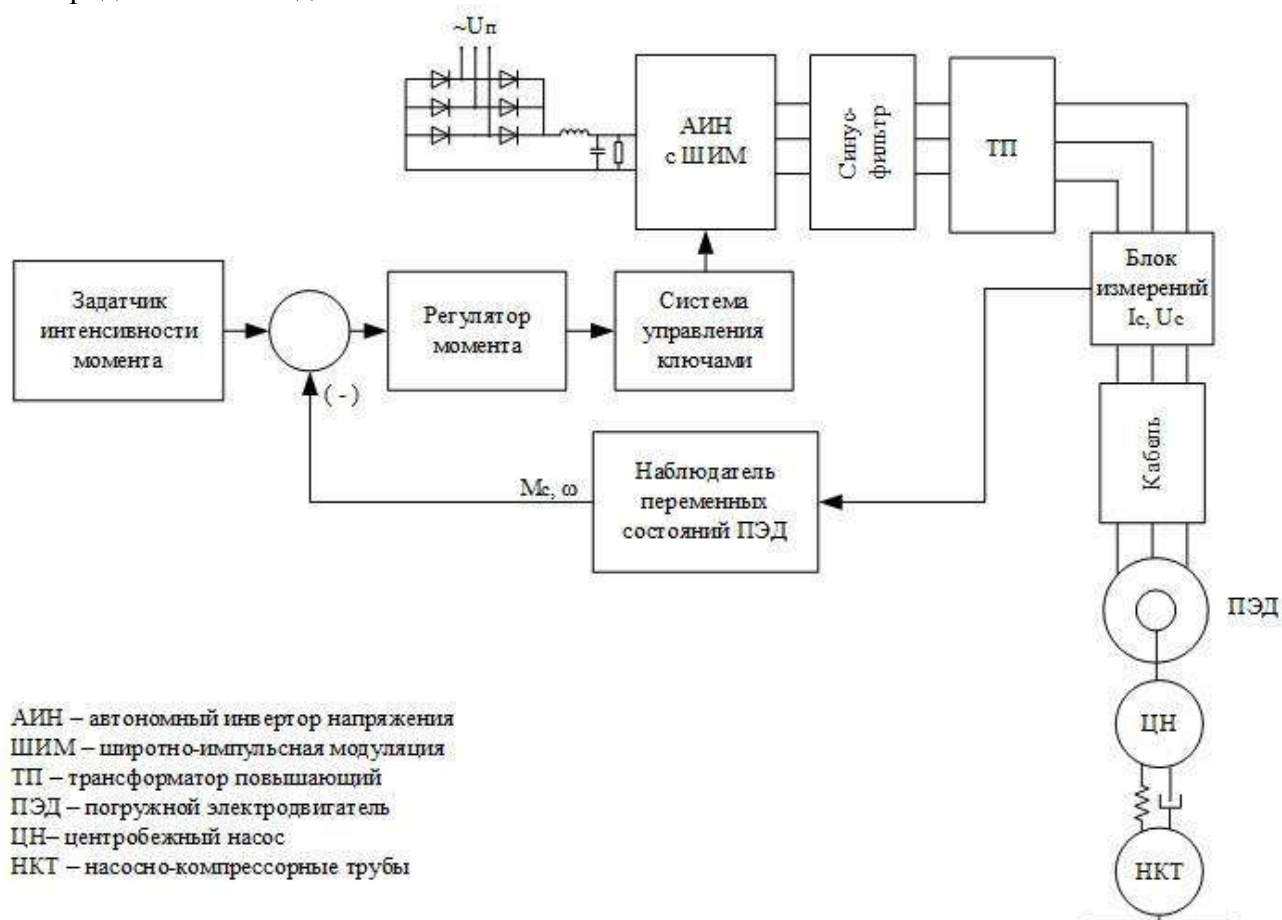


Рис.2. Функциональная схема системы расклинивания УЭЦН

Данные с датчиков тока и напряжений поступают в наблюдатель переменных состояний электродвигателя. После чего сигнал от наблюдателя переменных состояний сравнивается с сигналом датчика интенсивности, осуществляя регулирование момента. Далее сигнал поступает на систему управления ключами АИН, где ШИМ задает величину напряжения для создания необходимого момента по расклиниванию установки.

### Список литературы:

1. Шарф И.В. Борзенкова Д.Н. Трудноизвлекаемые запасы нефти: понятие, классификационные подходы и стимулирование разработки. Фундаментальные исследования. – 2015 – № 2 (часть 16) – С. 3593-3597
2. Лопатин Р.Р. Модели и алгоритмы частотно-регулируемого процесса расклинивания электроцентробежного насоса при добыче нефти в осложненных условиях: дис. канд. тех. наук – Томск, 2011. – 140 с.
3. Глазырин А.С. и др. Разработка наблюдателя полного порядка с оперативным мониторингом момента сопротивления для погружных асинхронных двигателей Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 2. С. 118–126.

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Ф.В. Перевощиков, студент гр. 5А6Ж,

Н.В. Выонг, аспирант ОЭЭ ИШЭ.

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

тел. (3822)-606-333

E-mail: [fvp2@tpu.ru](mailto:fvp2@tpu.ru)

В системах осушения воздуха процесс снижения влагосодержания основан на его охлаждении вплоть до точки росы и выпадении жидкости в конденсат. В условиях изобарного охлаждения температура точки росы зависит от относительной влажности и температуры в осушаемом пространстве, которые в свою очередь можно регулировать температурой нагревателя и скоростью потока воздуха, создаваемого вентилятором, главная часть которого – электропривод.

Таким образом, ввиду того, что система двумерная, существует некая неопределенность в направлении управления нагревателем и двигателем вентилятора, обусловленная функциональной зависимостью коэффициента передачи по мощности нагревателя и двигателя вентилятора соответственно. В современных же реалиях требуется построение такой системы управления, которая обеспечивала бы точное и быстрое позиционное регулирование за счет поддержания температуры радиатора и бокса оптимальным способом. Один из вариантов задания температуры на радиаторе теплообменника – это измерение температуры и влажности в боксе, что позволяет “предугадать” температуру точки росы с помощью выражения, получаемого из формулы давления насыщенных паров, выведенной Магнусом в 1844 году [1]:

$$P_{wp_i}(t^\circ) = a \cdot \exp\left[\frac{b \cdot t^\circ}{c + t^\circ}\right], \quad (1)$$

где  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты, меняющиеся от модели к модели.

Существует множество формул, построенных на общем определении Магнуса (табл.1). Из них можно выделить наиболее встречающиеся и используемые в метеорологии модели Аботт-Тобони, Алдучова, Бака [2-4].

Таблица 1. Основные формулы давления насыщенного пара над водой

Автор модели	Сокращенное название	Формула (кПа)
Аботт-Тобони	AT85	$P_{wp_i}(t^\circ) = 0.61070 \cdot \exp\left[\frac{17.38 \cdot t^\circ}{239.0 + t^\circ}\right]$
Алдучов	AERK	$P_{wp_i}(t^\circ) = 0.61094 \cdot \exp\left[\frac{17.625 \cdot t^\circ}{243.04 + t^\circ}\right]$
Бак	BU81	$P_{wp_i}(t^\circ) = 0.61121 \cdot \exp\left[\frac{17.502 \cdot t^\circ}{240.97 + t^\circ}\right]$

Накладывая на любую из вышеприведенных моделей условие равенства относительной влажности единице, можно получить искомое выражения температуры точки росы:

$$t_{\text{росы}}^{\circ} = \frac{c \cdot (\ln \varphi_{\text{бокс}} + \frac{b \cdot t_{\text{бокс}}^{\circ}}{c + t_{\text{бокс}}^{\circ}})}{b - \ln \varphi_{\text{бокс}} - \frac{b \cdot t_{\text{бокс}}^{\circ}}{c + t_{\text{бокс}}^{\circ}}} \quad (2)$$

Так же существуют модели немагнусовской формы, представляющие из себя, как правило сумму экспонент (Н: модель Векслера) [5]. Для нахождения температуры точки росы из этой модели приходится решать трансцендентное уравнение, но кажущееся усложнение вычислений ведет к увеличению точности определяемого значения температуры. Для реализации математической модели был собран прототип сушильной установки и ее системы управления (рис.1,2).



Рис. 1. Прототип сушильной установки

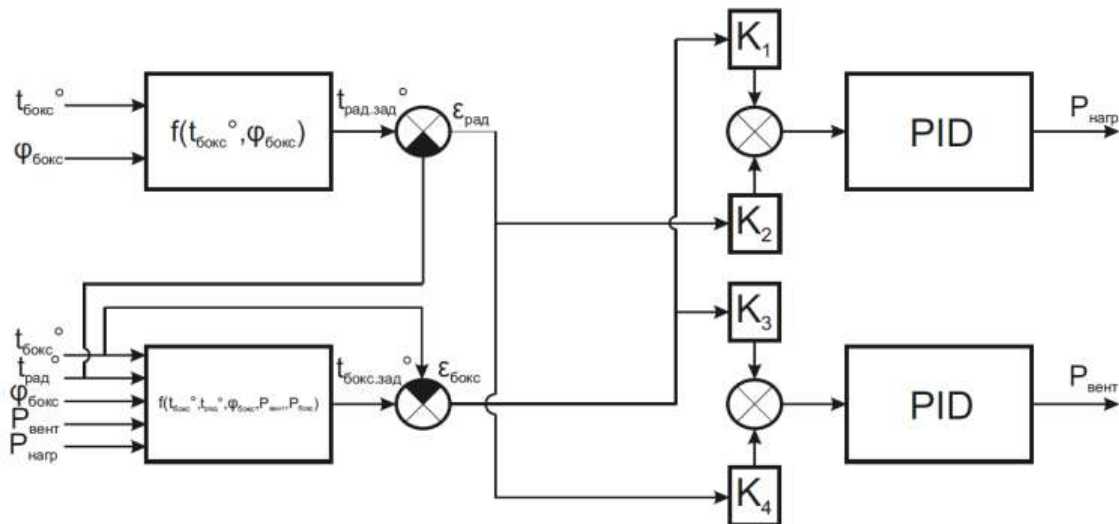


Рис. 2. Функциональная схема системы управления

Экспериментальная установка состоит из пластикового ящика; микроконтроллера *Arduino Nano*; блок резисторов, выполняющих роль нагревателя; элемент Пельтье, холодный спай которого находится в ящике; два вентилятора, один из которых создает необходимый поток воздуха в осушаемом объеме, а второй отводит теплоту с горячего спая элемента Пельтье. Система управления функционирует по следующему принципу: с

помощью измеряемых параметров сушильной установки, формируются задающие температуры бокса и радиатора по соответствующим математическим моделям. Полученное значение сравнивается с измеряемым, за счет чего определяется статическая ошибка, подающаяся по перекрестным связям на элементы  $K_q, q=1,4$ . Далее сигналы складываются и подаются на ПИД-регулятор для формирования выходных переменных состояний.

Так как определение необходимой потребляемой мощности вентилятора и нагревателя для поддержания оптимального режима работы – задача нетривиальная, ввиду сложности воссоздания задающей полипараметрической функции температуры бокса, поэтому она рассматриваться не будет. Но прототип установки позволит получить необходимый объем статистических данных с последующей интерполяцией полученных значений и отыскания этой функции. Однако, для их получения, система должна быть управляема, а для этого необходимо знать направление регулирования с учетом возникающих нелинейностей. Поэтому, далее предлагается способ отыскания коэффициентов  $K_q$ , которые «показывают» направление регулирования.

Из математического анализа известно, что определение скорости роста по направлению, это операция дифференцирования по направлениям. В данном случае направлениями выступают сами оси абсцисс и ординат, но для проведения этой процедуры необходим явный вид функций  $t_{\text{рад}}^{\circ} = t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}), t_{\text{бокс}}^{\circ} = t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$ , которые разумно идентифицировать численными методами, базирующихся на использовании экспериментальных данных.

В ходе эксперимента были сняты статические режимы и получена прямоугольная сетка температур на охлаждающем радиаторе и в боксе для ряда мощностей, потребляемых нагревателем и электроприводом вентилятора: 20, 40, 60% (табл.2).

Таблица 2. Экспериментальные данные температур

$P_{\text{нагр}}, \%$	$P_{\text{вент}}, \%$	$t_{\text{рад}}^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{бокс}}^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$
20	20	7.625	29.125
20	20	8.813	28.875
20	20	9.500	28.750
40	40	11.500	35.875
40	40	12.375	35.375
40	40	13.250	35.250
60	60	13.750	42.000
60	60	14.813	40.375
60	60	15.375	39.563



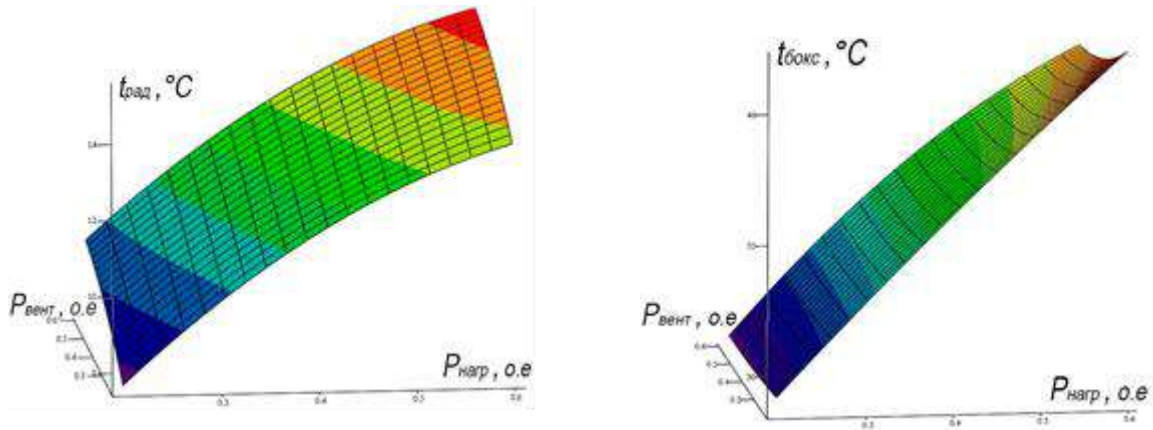


Рис. 3. Экспериментальные поверхности  $t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  и  $t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$

На основании полученных данных построена поверхность распределения температур (рис.3). Так же были получены кривые переходного процесса температур при изменении потребляемой мощности двигателем вентилятора и нагревателя (рис.4, 5).

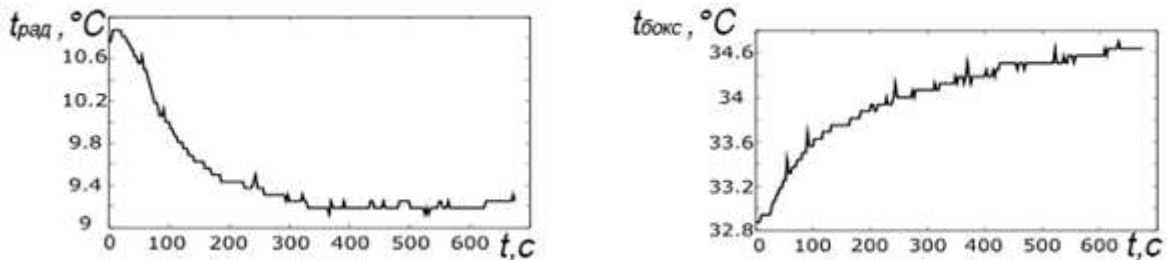


Рис. 4. Переходные процессы  $t_{\text{рад}}^{\circ}(t)$  и  $t_{\text{бокс}}^{\circ}(t)$  при уменьшении потребляемой мощности вентилятора

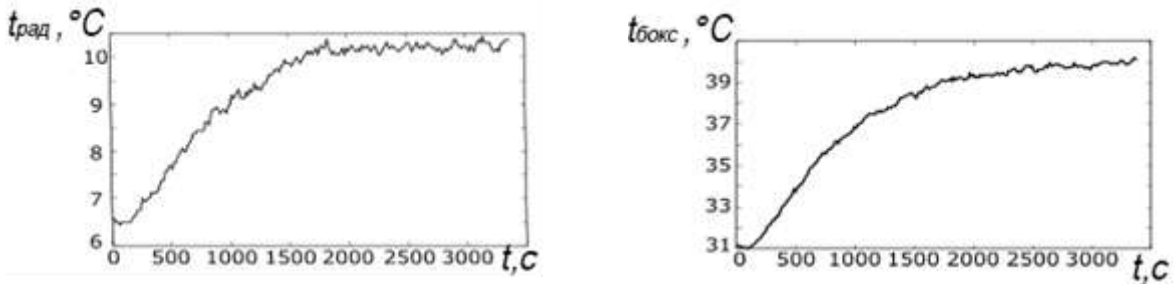


Рис. 5. Переходные процессы  $t_{\text{рад}}^{\circ}(t)$  и  $t_{\text{бокс}}^{\circ}(t)$  при увеличении потребляемой мощности вентилятора

Для получения функций  $t_{\text{рад}}^{\circ} = t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$ ,  $t_{\text{бокс}}^{\circ} = t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  воспользуемся известным методом интерполирующего многочлена Лагранжа.

$$t_{\text{рад/бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 t_{\text{рад/бокс}.i.j}^{\circ} \cdot l_{i,j}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) \quad (2)$$

Где  $l_{i,j}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  – базисные полиномы Лагранжа, которые определяются как:

$$l_{i,j}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = \prod_{p=1, p \neq i}^3 \prod_{q=1, q \neq j}^3 \frac{(P_{\text{нагр}} - P_{p.\text{нагр}})(P_{\text{вент}} - P_{q.\text{вент}})}{(P_{i.\text{нагр}} - P_{p.\text{нагр}})(P_{j.\text{вент}} - P_{q.\text{вент}})} \quad (3)$$

По опытным данным, используя (2) с помощью программной среды *Mathcad* были определены зависимости  $t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  и  $t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{рад}}, P_{\text{вент}})$ :

$$t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = 125 \cdot P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}} - 156.25 \cdot P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}}^2 - 39.063 \cdot P_{\text{нагр}}^2 + 125 \cdot P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}}^2 - 101.563 \cdot P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 46.875 \cdot P_{\text{нагр}} - 25 \cdot P_{\text{вент}}^2 + 25 \cdot P_{\text{вент}} - 1.875 \quad (4)$$

$$t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = 24.219 \cdot P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}}^2 - 69.219 \cdot P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}} + 5.063 \cdot P_{\text{нагр}}^2 - 0.781 \cdot P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}}^2 + 27.031 \cdot P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 33.063 \cdot P_{\text{нагр}} + 1.125 \cdot P_{\text{вент}}^2 - 5.05 \cdot P_{\text{вент}} + 22.715 \quad (5)$$

В результате были получены нелинейные функции  $t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  и  $t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}})$  которые следует линеаризовать разложением в ряд Тейлора для применения теории линейных систем.

$$t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = \left. \frac{\partial t_{\text{рад}}^{\circ}}{\partial P_{\text{нагр}}} \right|_{ij} P_{\text{нагр}} + \left. \frac{\partial t_{\text{рад}}^{\circ}}{\partial P_{\text{вент}}} \right|_{ij} P_{\text{вент}} = K_{\text{нагр}.ij} P_{\text{нагр}} + K_{\text{вент}.ij} P_{\text{вент}} = (-78.125 P_{\text{нагр}} - 101.563 P_{\text{вент}} - 312.5 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}}^2 + 125 P_{\text{вент}}^2 + 250 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 46.875) \Big|_{ij} \cdot P_{\text{нагр}} + (-101.563 P_{\text{нагр}} - 50 P_{\text{вент}} - 312.5 P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}} + 125 P_{\text{нагр}}^2 + 250 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 25) \Big|_{ij} P_{\text{вент}}; \quad (6)$$

$$t_{\text{бокс}}^{\circ}(P_{\text{нагр}}, P_{\text{вент}}) = \left. \frac{\partial t_{\text{бокс}}^{\circ}}{\partial P_{\text{нагр}}} \right|_{ij} P_{\text{нагр}} + \left. \frac{\partial t_{\text{бокс}}^{\circ}}{\partial P_{\text{вент}}} \right|_{ij} P_{\text{вент}} = K_{\text{нагр}.ij} P_{\text{нагр}} + K_{\text{вент}.ij} P_{\text{вент}} = (10.125 P_{\text{нагр}} + 27.031 P_{\text{вент}} + 48.438 P_{\text{вент}}^2 P_{\text{нагр}} - 0.781 P_{\text{вент}}^2 - 138.438 P_{\text{вент}} \cdot P_{\text{нагр}} + 33.063) \Big|_{ij} \cdot P_{\text{нагр}} + (27.031 P_{\text{нагр}} + 2.25 P_{\text{вент}} + 48.438 P_{\text{вент}} P_{\text{нагр}}^2 - 69.219 P_{\text{нагр}}^2 - 1.563 P_{\text{вент}} P_{\text{нагр}} - 5.05) \Big|_{ij} \cdot P_{\text{вент}}; \quad (7)$$

И в конечном итоге стало возможным записать явный вид коэффициентов  $K_q$ , которые содержатся в формулах (6) и (7):

$$K_1 = \frac{\partial t_{\text{бокс}}^{\circ}}{\partial P_{\text{нагр}}} = 10.125 P_{\text{нагр}} + 27.031 P_{\text{вент}} + 48.438 P_{\text{вент}}^2 \cdot P_{\text{нагр}} - 0.781 P_{\text{вент}}^2 - 138.438 P_{\text{вент}} \cdot P_{\text{нагр}} + 33.063; \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{\partial t_{\text{рад}}^{\circ}}{\partial P_{\text{нагр}}} = -78.125 P_{\text{нагр}} - 101.563 P_{\text{вент}} - 312.5 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}}^2 + 125 P_{\text{вент}}^2 + 250 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 46.875; \quad (9)$$

$$K_3 = \frac{\partial t_{\text{рад}}^{\circ}}{\partial P_{\text{вент}}} = -101.563 P_{\text{нагр}} - 50 P_{\text{вент}} - 312.5 P_{\text{нагр}}^2 \cdot P_{\text{вент}} + 125 P_{\text{нагр}}^2 + 250 P_{\text{нагр}} \cdot P_{\text{вент}} + 25; \quad (10)$$

$$K_4 = \frac{\partial t_{\text{бокс}}^{\circ}}{\partial P_{\text{вент}}} = 27.031 P_{\text{нагр}} + 2.25 P_{\text{вент}} + 48.438 P_{\text{вент}} P_{\text{нагр}}^2 - 69.219 P_{\text{нагр}}^2 - 1.563 P_{\text{вент}} P_{\text{нагр}} - 5.05. \quad (11)$$

### Выводы:

Таким образом, сложные нелинейные динамические процессы в сушильных установках можно представить линеаризованной математической моделью. В собранном прототипе установки по полученным интерполянтам можно сделать вывод о хорошей управляемости температуры радиатора изменением потребляемой мощности двигателя вентилятора и нагревателя, а температуру бокса можно регулировать нагревателем, но не вентилятором из-за немонотонности  $t_{\text{рад}}^{\circ}(P_{\text{вент}})$ . Но эти измерения не являются исходными данными для синтеза систем управления других сушильных аппаратов. Результатом данной работы является метод использования линейной теории на линеаризованную



математическую модель шкафа с целью отыскания параметров этой системы – коэффициентов перекрестной связи  $K_q$ ,  $q = \overline{1,4}$ , непосредственно определяющих способ и направление регулирования системой.

**Список литературы:**

1. G. Magnus. Versuche uber die spannkrafte des wasserdampfes. Annalen der Physik, 137(2). 1844. P. 225-247.
2. P. F. Abbott and R. C. Tabony. The estimation of humidity parameters. Meteorological Magazine, 114(1351). 1985. P. 49-56.
3. O. A. Alduchov and R. E. Eskridge. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. Journal of Applied Meteorology, 35(4). 1996. P. 601-609.
4. L. Buck. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. Journal of Applied Meteorology, 20(12). 1981. P. 1527-1532.
5. Wexler. Vapor pressure formulation for water in the range 0 to 100. J. Res. Nat. Bur. Stand. 1976 P. 775.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

*П.Л. Суворина, студент гр. 5А6К*  
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,*  
*тел. +7 (3822) 705-014*  
E-mail: [suvorina.polina@mail.ru](mailto:suvorina.polina@mail.ru)

Преобразователь частоты (ПЧ) для погружных насосов автоматизирует работу двигателя, выполняет регулирование тока в заданных пределах, обеспечивает плавное включение пусковых сопротивлений и остановку двигателя, тем самым устраняет перегрузку элементов и увеличивает надежность установки.

Электродвигатели погружных насосов при подаче питания имеют броски пусковых токов, которые в 6...7 раз превышают значения тока при полной нагрузке. Это происходит из-за особенностей пусковых режимов включения исполнительного асинхронного двигателя с нулевой скорости до скорости, обеспечивающей необходимую производительность насоса. Каждый запуск погружного асинхронного двигателя (ПЭД) приводит к высоким механическим и электрическим нагрузкам, броскам тока статора, нагреву активной части, что является причиной старения изоляции и сокращения срока службы двигателя. В промышленности принято ограничивать число пусков и остановок, когда оборудование эксплуатируется с использованием пускателей с полным напряжением.

Частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭП) обеспечивает постепенное и плавное наращивание скорости двигателя вместо мгновенного включения от пускового устройства полного напряжения, снижая механические и электрические напряжения. Расходы на техническое обслуживание и ремонт значительно снижаются, а срок службы двигателя и оборудования увеличивается [1].

Поиск подходящего привода для насоса является сложной задачей. ЧРЭП, или привод с регулируемой скоростью, работает по принципу изменения входной частоты и напряжения двигателя. Мощность переменного тока преобразуется в постоянный ток с использованием преобразователя, и этот сигнал инвертируется обратно в переменный ток с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

ПЧ применяются для погружных электродвигателей ПЭД при следующих условиях.

Если ПЧ не может удовлетворить ограничения напряжения двигателя (в частности, скачки напряжения на клеммах двигателя), для соблюдения ограничений по напряжению двигателя необходимо применять надлежащие фильтры. Фильтры модели должны быть указаны изготовителями преобразователя частоты в соответствии с ограничениями напряжения двигателя. Как правило, используются синусоидальный фильтр и фильтр  $dV/dT$  [2].

Синусоидальный фильтр, расположенный между преобразователем частоты и двигателем, обеспечивает синусоидальное межфазное напряжение двигателя. Он снижает напряжение изоляции двигателя и уменьшает акустический шум от мотора. Подшипниковые токи также уменьшаются, особенно в более крупных двигателях.

Фильтр  $dV/dT$  – обеспечивает более медленную скорость нарастания напряжения на клеммах двигателя, которое особенно важно при использовании более коротких кабелей двигателя. Чем выше уровень индуктивности и емкость системы, тем выше пики напряжения, что может вызвать вспышку, которая приводит к преждевременному выходу из строя изоляции обмотки подключенного двигателя [3].

Охлаждающая жидкость имеет скорость потока более 0,5 м/с. Если данная скорость потока охлаждения не обеспечивается, используется охлаждающий кожух.

Электропогружные насосы выбирают с запасом по мощности. Значение минимальной частоты вращения составляет не менее 60 %, данная частота обеспечивает смазывание осевых опор насоса.

При изменении частоты вращения номинальный расход насоса не может снизиться менее чем на 10 %. Предотвращение уменьшения расхода можно обеспечить тремя способами.

Первым способом является определение минимально допустимой частоты на основании действительной рабочей характеристики насоса и характеристики системы. Значение этой частоты устанавливают на преобразователе частоты. На практике полученные при расчетах значения проверяют с помощью расходомера.

Вторым – установка минимального значения расхода на расходомере, соединенном с преобразователем частоты, и при этом значении отключение насоса. Полученное значение можно связать зависимостью с минимальным давлением, установленным на реле давления.

Третьим, простейшим способом, является установка реле протока на напорной стороне каждого насоса. Реле отключает силовой контактор, как только величина потока станет меньше номинального значения на 10%.



Рис. 13. Преобразователь частоты для погружных насосов

#### **Выводы:**

Применение ПЧ для погружных двигателей позволяет экономить электроэнергию от 30 до 60%, исключает гидроудары, что увеличивает срок службы трубопроводов и запорной арматуры, уменьшает пусковые токи, обеспечивает работу электродвигателя и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, что увеличивает срок службы двигателя. А также дает возможность полностью автоматизировать насосные станции.

#### **Список литературы:**

1. The Benefits of Variable Speed Pumping [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://modernpumpingtoday.com/7183-2/> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 23.10.2019/
2. Частотники.рф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/prim.html> свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 23.10.2019/

3. Motor filters on VFD applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.xylem.com/siteassets/brand-specific-content-including-catalog/lowara/resources/4os-l4c-l6c-l6w-l8w-l10w-l12w-submersible-motors/sub-motors-vfd-10\\_13.pdf](https://www.xylem.com/siteassets/brand-specific-content-including-catalog/lowara/resources/4os-l4c-l6c-l6w-l8w-l10w-l12w-submersible-motors/sub-motors-vfd-10_13.pdf) свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: / 23.10.2019/

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ STM 32 ДЛЯ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*А.А. Тебин, студент гр. 5А6Ж,  
С.В. Прохоров, аспирант гр. А828*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел. (3822)-606-333*

*E-mail: [aat59@tpu.ru](mailto:aat59@tpu.ru)*

### Введение

Развитие науки и техники привели к созданию такой междисциплинарной отрасли инженерной деятельности, как встраиваемые системы. Она охватывает практически все сферы человеческой жизни - начиная от бытовой техники, заканчивая космическими и подводными аппаратами.

В связи с тем, что встроенные системы являются системами с преимущественно программной реализацией, сложность и удельный вес программной составляющей неуклонно растет - рисунок 1 [1].

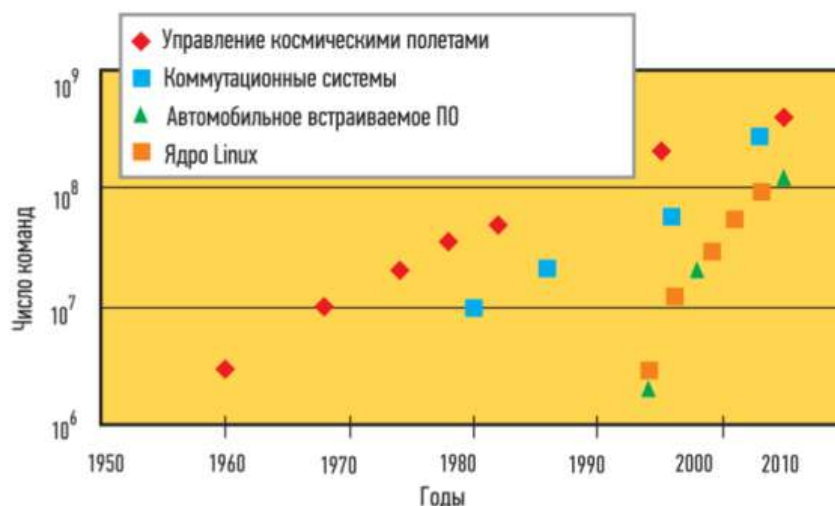


Рис. 1. Рост объема программной части встраиваемых систем

Важная особенность работы встраиваемой системы заключается в необходимости работы в реальном времени, что вносит определенные требования. Для успешной работы системы необходимо выбрать микроконтроллер с соответствующей вычислительной мощностью, разработать эффективный алгоритм. Так же, встраиваемая система должна адекватно воспринимать полное отсутствие сигнала, или внештатное его появление.

Еще одной особенностью, отражающуюся на проектировании встраиваемых систем, является то, что эксплуатация данных систем на каком-либо производстве осуществляется инженером-технологом, который зачастую не является специалистом в области программирования микроконтроллеров. В таком случае, для того, чтобы при необходимости настроить, отладить, систему, проектировщик должен предусмотреть специализированные интерфейсы и инструменты [2].

Все это делает проектирование встраиваемых систем достаточно сложной инженерной задачей.

В статье предлагается использовать гибкие встраиваемые системы с применением программирования с помощью функциональных блок-диаграмм (*FBD*-логика) для систем с частотным электроприводом на примере системы горячего водоснабжения (ГВС).

### Встраиваемые системы в электроприводе

В настоящий момент большое количество производств в том или ином виде использует в своей деятельности электроприводы различных типов и конфигураций. В ходе эксплуатации многие технологические процессы требуют изменения, или поддержания скорости движения рабочих органов. Что, в свою очередь, приводит к необходимости управления такими параметрами электропривода, как угловая скорость и вращательный момент.

Мы рассмотрим проблему использования встраиваемых программируемых систем в системе ГВС.

В материале [3] приводится техническое решение для повышения быстродействия системы ГВС. На рисунке 2 представлена трехконтурная система горячего водоснабжения. Контур  $q_1$  включает в себя клапан, первичный контур пластинчатого теплообменника и напорный насос, приводимый в работу асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. Контур  $q_2$  состоит из вторичного контура пластинчатого теплообменника и потребительской системы водоснабжения, которая может включать различные структуры. В контур  $q_3$  входит подающая магистраль, клапан и напорный насос.

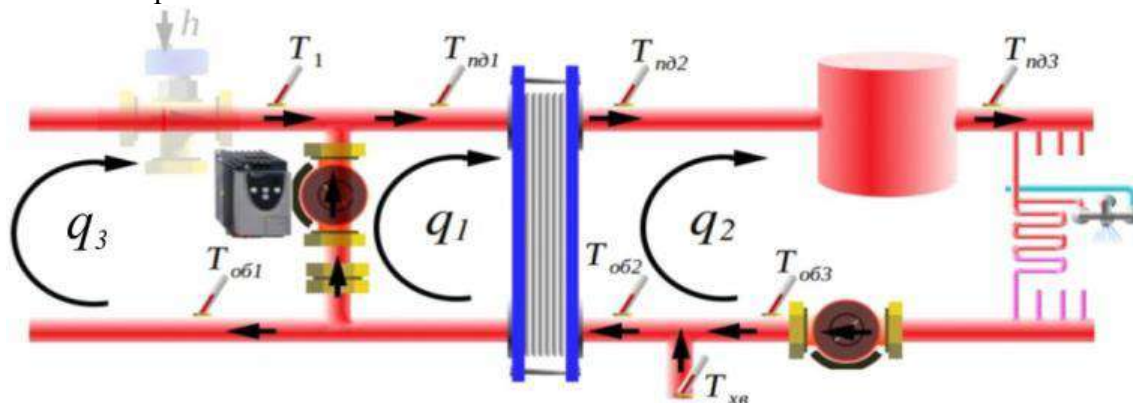


Рис. 2. Рассматриваемая система горячего водоснабжения

Для изменения температуры в контуре потребителя  $q_2$  необходимо изменить количество теплоты, подводимое к теплообменнику со стороны контура  $q_1$ . Напорный насос может изменять создаваемое им давление, тем самым регулируя ток теплоносителя по контурам. При необходимости снизить температуру у конечного потребителя напорный насос создает давление большее, чем давление подающей магистрали, тем самым в теплообменник поступает отработанный теплоноситель, который уже отдал часть своей энергии. Для повышения температуры необходимо, чтобы в теплообменник поступал теплоноситель преимущественно из подающей магистрали. В этом случае насос должен работать в таком режиме, чтобы создавать такое же давление, как в подающей магистрали. Скорость вращения вала двигателя, приводящего в работу насос, прямо пропорциональна формируемому давлению.

Таким образом, выявляется закономерность, которая лежит в основе закона управления: чем больше скорость, развиваемая двигателем, тем меньше температура у потребителя тепла.

В современных встраиваемых системах для управления частотным электроприводом зачастую реализована жесткая, неизменяемая конфигурация, представленная на рисунке 3.

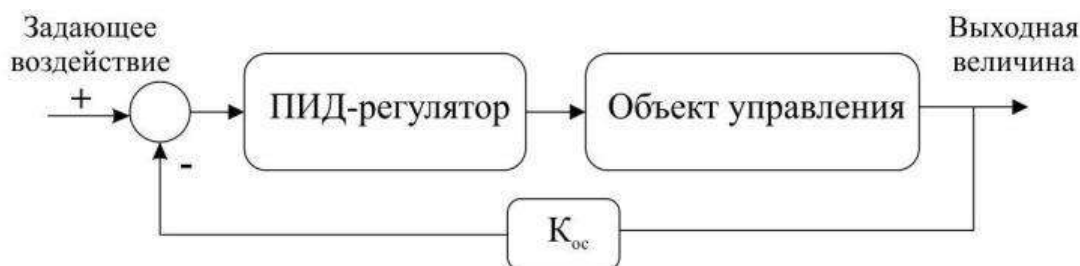


Рис. 3. Наиболее распространенная конфигурация частотного регулирования

На рисунке 3 изображена блок-схема обычно реализуемой в преобразователях частоты системы управления, где для рассмотренной системы задающее воздействие - это необходимая температура теплоносителя у потребителя, выходная величина - температура в данный момент времени. Объект управления представляет из себя двигатель насоса, регулируемым параметром которого является угловая скорость. Действительное значение температуры, умноженное на коэффициент обратной связи  $K_{oc}$  по контуру обратной связи, поступает на вход сумматора, где вычитается из необходимого значения температуры.

При настройке частотного управления на рассмотренном объекте возникает ряд проблем, а именно: необходимо обеспечить соответствующее нарастание скорости вращения вала двигателя во избежание гидроударов и перегрузок. Температура горячей воды в системе (См. рис. 2) уменьшается с увеличением скорости вращения ротора приводного двигателя, что приводит к обратной зависимости выходной величины от скорости вращения вала двигателя. В результате коэффициент передачи объекта управления принимает отрицательные значения, что приводит к образованию так называемой положительной обратной связи при использовании штатного контура управления, что не позволяет применять встраиваемую систему.

Таким образом, распространенные встраиваемые системы не обладают функционалом для реализации данной системы регулирования, что является ограничивающим фактором для использования встраиваемых систем

### Предлагаемое решение

В данной работе предлагается сформировать встраиваемую систему на базе микроконтроллера STM32 сери *FIXX* и программного комплекса «АКИАР».

Выбор микроконтроллера обусловлен следующими факторами:

– аппаратное исполнение специализированных таймеров в архитектуре микроконтроллера, которая позволяет реализовать систему управления трехфазными двигателями;

– наличие достаточных вычислительных возможностей для выполнения задачи и алгоритмов по автоматизации процессов [4].

К положительным особенностям данного микроконтроллера можно отнести невысокую цену и наличия большого количества литературы на тему эксплуатации и программирования данного устройства.

Программный комплекс «АКИАР» [5] позволяет формировать разнообразные системы управления с помощью функциональных блок-диаграмм, а также моделировать процессы автоматизации. Данный подход не требует специфических знаний о программировании микроконтроллеров от инженеров, взаимодействующих со встраиваемой системой [6].



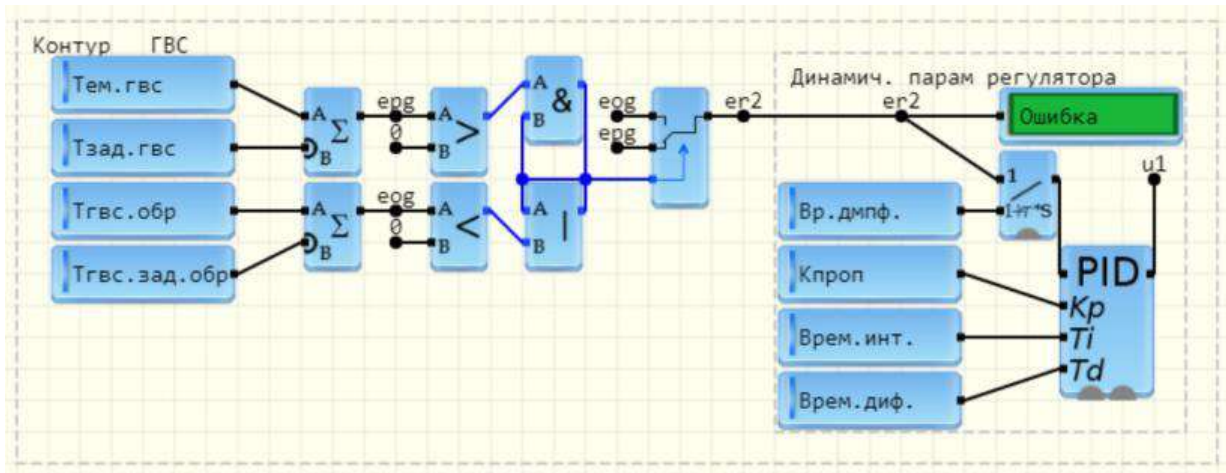


Рис. 4. Система регулирования температуры потребительского контура ГВС

На рисунке 4 представлена система регулирования, сформированная в комплексе «АКИАР» с использованием функциональных блок-диаграмм. Представление элементов системы в виде отдельных блоков и, затем формирование из них физических моделей и системы управления имеет высокую наглядность, легче в понимании и построении для инженера, не обладающего глубокими знаниями в программировании микроконтроллеров на распространенных текстовых языках.

В модели управления требуется отразить то, что поставщик теплоэнергии накладывает ограничение на температуру обратного теплоносителя, который поступает от потребителя к поставщику. В таком случае необходимо так же регулировать и температуру теплоносителя, следующего к поставщику. Для этого реализуется система на рисунке 4.

Опишем логику работы данной схемы. Основным регулирующим элементом является пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор)  $PID$ , для которого отдельными блоками заданы постоянные времени для интегрирующей составляющей –  $Врем.инт.$ , для дифференцирующей составляющей –  $Врем.диф.$  и коэффициент пропорциональности  $K_{проп}$ .

Выходом регулятора является управляющее воздействие для приводного двигателя. Последовательно с регулятором включена математическая модель объекта управления, описывающая процесс изменения температуры в контурах. Для устранения отклонения действительной температуры от заданной на вход модели поступает одна из ошибок, которая определяется как разность текущей и заданной температуры в одном из контуров. Ошибки формируются на выходах сумматоров с одним инверсным входом, куда поступают на первый  $Тем.гвс$  – текущая температура потребителя и  $Тзад.гвс$  – заданная температура у потребителя, на второй  $Тгвс.обр$  – текущая температура отработанного теплоносителя и  $Тгвс.зад.обр.$  – заданная поставщиком температура отработанного теплоносителя.

Далее путем логических операций реализуется следующий принцип: при превышении допустимой температуры обратного теплоносителя на вход математической модели поступает разность температур  $Тгвс.обр$  и  $Тгвс.зад.обр.$

В результате происходит стабилизация температуры обратного теплоносителя. Если его температура не выходит за допустимый предел, то на вход математической модели поступает рассогласование температуры в контуре потребителя, что приводит к ее стабилизации.



**Выводы:**

Как видно, достаточно сложный алгоритм, учитывающий особенности системы, связанные с требованиями поставщика тепла, представлен вполне наглядно, а для его формирования необходимо лишь представлять логику работы системы. В распространенных встраиваемых системах для частотного управления двигателями нет средств для реализации автоматического управления процессами с подобными особенностями, не говоря уже о более сложных и нестандартных операциях.

Штатные инструменты программного комплекса «АКИАР» дают возможность загрузить сформированный алгоритм управления в микроконтроллеры, в том числе и в STM 32, что позволяет создавать и настраивать встраиваемые системы достаточно легко.

Данная идея будет полезна разработчикам и производителям частотно-регулируемых электроприводов, которые стремятся расширить использование встраиваемых систем в своей продукции.

Предложение было направлено производителю программного продукта «АКИАР», где инженеры уже ведут исследования и разработку подобных систем.

**Список литературы:**

1. Платунов А. Е. Встраиваемые системы управления // *CONTROL ENGINEERING* РОССИЯ – 2013. – №3. – С. 17-24.

2. Fabian, M., Hellgren, A. PLC-based implementation of supervisory control for discrete event systems (1998) Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, 3, P. 3305-3310.

3. Колесов П. Ю. Исследование нелинейных свойств замкнутой системы горячего водоснабжения с частотным управлением: дипломный проект / П. Ю. Колесов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра электропривода и электрооборудования (ЭПЭО); науч. рук. А. А. Шилин. – Томск, 2015.

4. ST STM 32 F1 series Reference manual R0008 [Электронный ресурс] / st.com – Режим доступа:

[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference\\_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf), (свободный, дата обращения: 09.09.2019).

5. ООО НПО ВЭСТ. Автоматизированный комплекс исследования автоматических регуляторов (АКИАР). [Электронные ресурсы] <http://akiar.npowest.ru>, (свободный, дата обращения 09.09.2019).

6. Лещев В.С., Шилин А.А., Светлаков А.А. Автоматизированный комплекс для исследования автоматических регуляторов // Известия Томского политехнического университета / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2007. – Т. 311, № 5: Управление, вычислительная техника и информатика. – С. 23-29.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

С.Н. Кладиев, к.т.н., доц.,

М.А. Шенделёв, аспирант гр. А828

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел. (3822)-444-555

E-mail: [kladiev@tpu.ru](mailto:kladiev@tpu.ru)

Мягкий пуск асинхронного двигателя строится на том, что напряжение, подаваемое от источника питания посредством тиристорного пускового устройства на обмотку статора асинхронного двигателя, которое можно ограничить с помощью силовых ключей, т.е., согласно схеме на рис.1- параллельно включенные тиристоры VS1-VS6. Поэтому напряжение нагрузки изменяется по закону, который определяется задатчиком интенсивности.

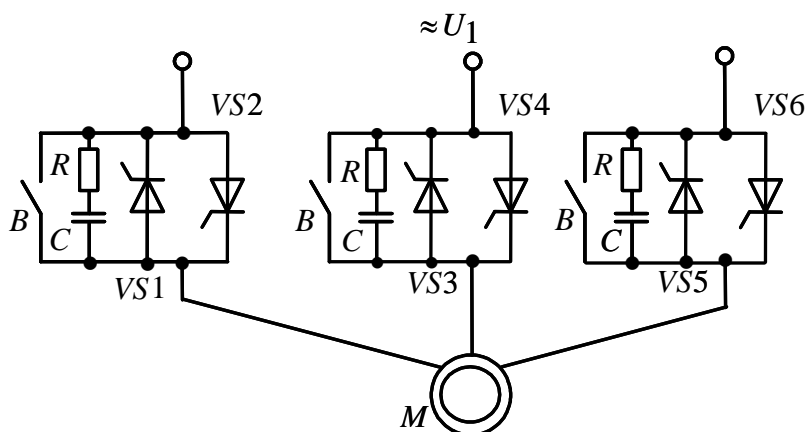


Рис. 1. Схема нереверсивного тиристорного регулятора напряжения

Пара тиристоров в фазе устройства плавного пуска, которые шунтируются  $RC$  цепочками.  $RC$  цепочки включены в схему с целью исключения самопроизвольного включения тиристоров из-за эффекта  $\frac{dU}{dt}$ , возникающего при питании силовым напряжением пускового устройства скачком. Имеются устройства плавного пуска, которые оснащены механическими контактами  $B$  (рис.1). Они служат, чтобы в момент окончания переходного процесса осуществить шунтирование тиристоров.

Основной задачей устройства плавного пуска является плавное увеличение напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя  $M$ , чтобы достичь необходимое значение тока статора и его момента по заданному закону. Простота схемы, низкие массогабаритные показатели и стоимость тиристорного пускового устройства осуществляют ограничение тока и момента двигателя при пусках, торможениях. Во время прямого пуска асинхронного двигателя на его валу возникают ударные динамические моменты, превышающие номинальный момент двигателя в 5 – 6 раз. Это оказывает сильное негативное влияние как на механизм, так и на сам двигатель.

Все исследования асинхронного электропривода в динамических режимах при прямом и плавном пуске посредством тиристорного пускового устройства осуществим в программной среде *MatLab-Simulink*. В программной среде *MatLab-Simulink* будем

определять мощности и потери мощности при помощи интегрирования и отображения посредством цифрового индикатора (*Display*). Схема одной из фаз пускового устройства в программной среде *MatLab-Simulink* приведена на рис. 2.

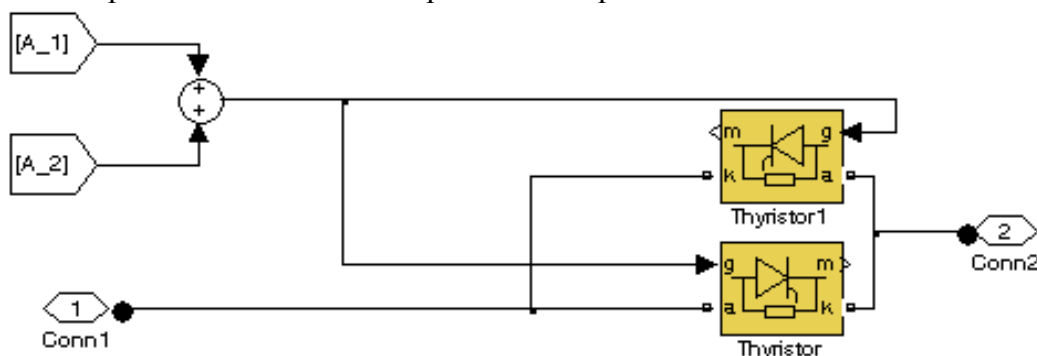


Рис. 2. Схема одной фазы тиристорного пускового устройства в среде *MatLab-Simulink*

Проанализируем потери в асинхронном двигателе при прямом пуске и с тиристорным пусковым устройством. Для сравнения определим мощность, которую потребляет двигатель из сети ( $P_s$ ), мощность на валу электродвигателя ( $P_m$ ), потери мощности в электродвигателе ( $\Delta P_s$ ) и потери мощности в электродвигателе при нагревании активных сопротивлений статора ( $P_{1a}$ ).

Мгновенное значение мощности, которую потребляет двигатель из сети во время работы во всех режимах, найдем из выражения:

$$P_s = u_{1a} \cdot i_{1a} + u_{1b} \cdot i_{1b} + u_{1c} \cdot i_{1c}, \quad (1)$$

$u_{1a}$ ,  $u_{1b}$ ,  $u_{1c}$  – мгновенные значения фазных напряжений двигателя;

$i_{1a}$ ,  $i_{1b}$ ,  $i_{1c}$  – мгновенные значения фазных токов.

Мгновенное значение мощности на валу двигателя определим по уравнению:

$$P_m = M \cdot \omega \quad (2)$$

$M$  – мгновенное значение момента асинхронного двигателя, Н·м;

$\omega$  – скорость двигателя, рад/с;

Потери мощности в двигателе можно определить, как разницу мощности, потребляемой двигателем из сети, и механической мощности на его валу:

$$\Delta P_s = P_s - P_m. \quad (3)$$

Потери мощности на активных сопротивлениях статора, от протекающего тока:

$$P_{1a} = 3 \times i_{1a}^2 \times R_1, \quad (4)$$

$R_1$  – активное сопротивление фазы статора.

Процессы смоделированы для асинхронного двигателя АИР90S2, который имеет следующие характеристики:

- номинальная мощность  $P_n = 3.4$  кВт;
- номинальное фазное напряжение  $U_{1n} = 220$  В;
- номинальная синхронная скорость  $\omega_{0n} = 314.15$  рад/с;

- номинальную скорость  $\omega_H = 290$  рад/с;
- номинальный КПД  $\eta_H = 0,76$  о.е.;
- номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi_H = 0.72$  о.е.;
- кратность пускового тока  $k_i = \frac{I_{II}}{I_H} = 6.0$  о.е.;
- кратность максимального момента  $k_{max} = \frac{M_{II}}{M_H} = 2.2$  о.е.

Данные, полученные выше, необходимы для расчета параметров T-образной схемы замещения электродвигателя [1].

По результатам моделирования прямого пуска асинхронного двигателя получены графики переходных процессов (рис. 3, а) и графики мощностей и потерь мощности в двигателе (рис. 3, б).

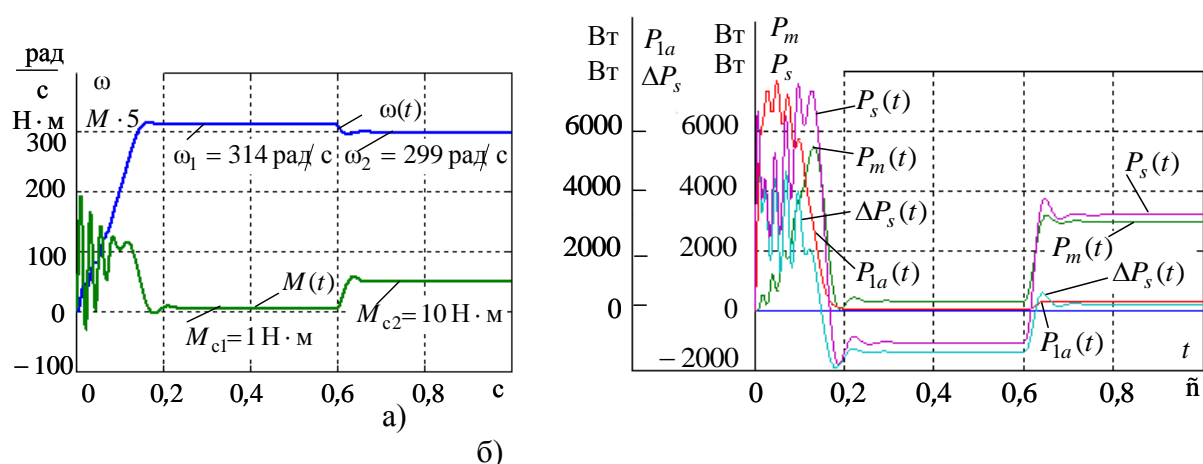


Рис. 3. Графики переходных процессов при прямом пуске асинхронного двигателя

Было выявлено следующее: прямой пуск асинхронного двигателя с моментом сопротивления  $M_{c1} = 1$  Н·м имеет установившуюся скорость  $\omega_1 = 314$  рад/с, при «набросе» нагрузки до 10 Н·м –  $\omega_2 = 299$  рад/с, а ударный динамический момент находится в пределах 40 Н·м. Это в 4 раза больше номинального момента рассматриваемого двигателя, номинальный момент которого равен 10,8 Н·м.

По графикам мощностей и потерь мощности в двигателе рис. 3, б получаем следующие данные: мощность, потребляемая двигателем от ТПУ за цикл работы  $P_s = 1796$  Вт, мощность на валу двигателя за цикл работы  $P_m = 1677$  Вт, потери мощности в двигателе  $\Delta P_s = 119$  Вт.

При помощи имитационной модели пуска асинхронного двигателя при помощи тиристорного пускового устройства построены графики переходных процессов скорости  $\omega(t)$  и момента  $M(t)$  рис. 4, а и графики мощностей и потерь мощности в двигателе рис. 4, б.

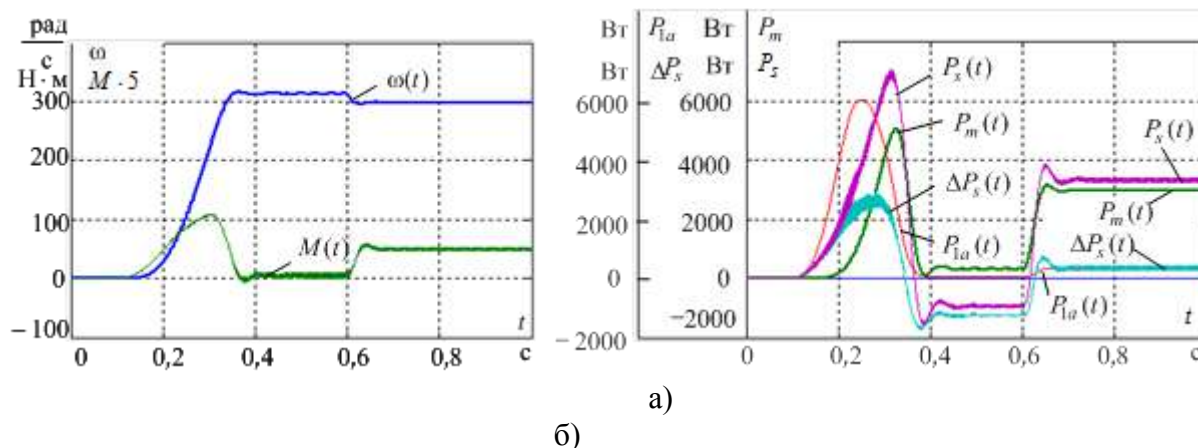


Рис. 4. Графики переходных процессов при пуске асинхронного двигателя посредством тиристорного пускового устройства

При анализе переходных процессов, приведенных на рис.4, было выяснено, что ударные динамические моменты при пуске и набросе нагрузки отсутствуют, двигатель набирает скорость плавно. Потребляемые мощности:  $P_s=1784$  Вт,  $P_m=1635$  Вт, потери мощности в двигателе  $\Delta P_s = 149$  Вт.

#### Выводы:

Рассматриваемая система ТРН-АД применяется на объектах ООО «Газпром трансгаз Томск». Станция вододобычи (артезианская скважина) северной промплощадки Томской области оснащена системой управления скважинным насосом через тиристорное пусковое устройство. Один из единственных объектов, где в рамках капитального ремонта не внедрили систему ПЧ-АД. Но и ПЧ-АД имеет свои минусы:

- высокая частота коммутации ключей, приводящая к повышенному износу оборудования;
- двойное преобразование энергии;
- потребность в оборудовании, включающее в себя полупроводниковые диоды выпрямителя, фильтры звена постоянного тока, комплекты транзисторных ключей инвертора. Это требует дополнительных серьезных затрат на электропривод.

Скважинные насосы артезианских скважин на объектах ООО «Газпром трансгаз Томск» не нуждаются в глубоком регулировании скорости. Им необходим лишь плавный пуск АД, поэтому применение ТРН-АД актуально и целесообразно на данных объектах.

Длительная эксплуатация системы ТРН-АД показала ее надежность и длительный срок службы без различных видов ремонта. На это повлияли:

- Простота схемы, по сравнению с ПЧ-АД;
- Массогабаритные показатели;
- Стоимость ПЧ, примерно в 2-3 раза больше ТРН, затраты на внедрение велики. К тому же использование шунтирующих контактов дополнительного контактора на 3-х фазах ТРН уменьшает потери электрической энергии;
- Надежность системы ТРН-АД выше, одним из определяющих показателей является частота коммутации ключей за один период (у ПЧ она выше).

#### Список литературы:

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

1. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

## СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ДЫМОСОСНОЙ УСТАНОВКИ

*А.Б. Шестаков, студент гр. 5А6К  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,  
тел. +7(999) 177-50-59  
E-mail: [ARTE47@mail.ru](mailto:ARTE47@mail.ru)*

Комплекс управления предназначен для автоматического, ручного и удаленного управления дымососной и циркуляционной системой дома с помощью интернета или телефонной связи.

Зачем нужно управлять системой отопления на расстоянии?

К примеру, если вы живете загородном доме, даче или коттедже и часто куда-либо уезжаете, то стоит задуматься о управление вашей отопительной системе дома удаленно чтобы не переживать по поводу того, что не вернетесь ли вы в холодный дом, не разморозилась ли система, не слишком ли много или мало расходуется топлива и т.д. [1].

На сегодняшний день существуют современные автоматизированные системы, которые позволяют дистанционно контролировать и управлять автономным отоплением, избавляя Вас от переживаний по поводу излишних расходов или о работоспособности системы отопления, повышая тем самым уровень комфортности проживания в коттедже или на даче. Преимущества использования систем дистанционного управления отоплением:

- создается дополнительный комфорт;
- экономия затрат на отопление, (до 50%), за счет работы котла в экономичном режиме в случае Вашего отсутствия;
- увеличение срока службы оборудования, обеспечиваемое его работой при сниженной нагрузке [1].

Для инженерных систем тенденцией развития является их объединение в единую сеть, позволяющее снизить общие затраты на содержание дома.

Для управления Вашей системой отопления удалено Вам необходимо иметь под рукой всего лишь мобильный телефон или смартфон с доступом в сеть интернет.

Комплекс управления включает в себя: Преобразователи частоты; датчики контроля кислорода; Логический контроллер; Блок GSM; Автоматические выключатели; Светосигнальную аппаратуру (работа агрегата; сработал расцепитель автоматического выключателя при работе от сети; авария ПЧ; агрегат переведен на работу от ПЧ; агрегат переведен на работу от сети.); Управляющую аппаратуру; Индикационные приборы (рис.1).

Комплекс управления состоит из двух станций управления, пульта дистанционного управления и GSM блока управления. Вентиляторы и дымосос работают в регулируемом режиме под управлением встроенного программируемого контроллера. Контролер выполняет важную роль в комплексе, так как на него приходят сигналы с датчиков кислорода, и он подбирает правильный режим работы двигателей дымососа и нагнетателя для более качественного сгорания топлива и поддержание заданной температуры комнат.

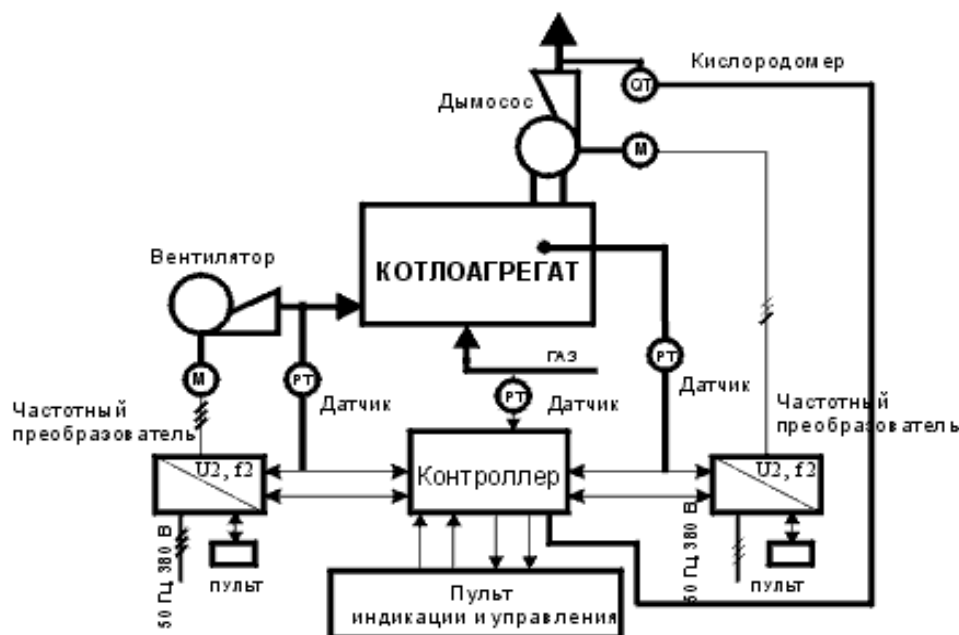


Рисунок 1 – Структурная схема энергосберегающей системы автоматизированного управления

Доступные режимы, когда осуществлено GSM управление котлом отопления:

- Автоматический контроль по заданным параметрам – в электронику вводят программу, которую она самостоятельно выполняет до момента следующих изменений;
- Связь путем рассылки СМС. Хозяин дома короткими текстовыми командами может проводить любые настройки блока GSM;
- Режим передачи тревожных оповещений, когда произошли нестандартные ситуации: выключилось оборудование, «завоздушились» трубы, утечка газа;
- Возможность удаленно управлять любыми автоматическими системами, которые согласуются с блоком GSM управления отоплением [2].

Какой бы сложной и удобной не была электронная система, позволяющая осуществлять дистанционное управление котлом, она должна быть подстрахована на случай отключения электроэнергии или потерей связи GSM модуля.

Поэтому, пытаясь выйти на уровень создания умного дома, следует позаботиться о надежной автоматизации всех жизненно важных его элементов – внедрить системы автономного питания и продублировать каналы связи с объектом.

#### Список литературы:

1. Дистанционное управление котлом: GSM, интернет и другие варианты автоматизации – [Электронный ресурс] – URL: <https://bezopasnostin.ru/umnyj-dom/distantcionnoe-upravlenie-kotlom.html>;
2. Система дистанционного управления отоплением загородного дома, дачи или коттеджа – [Электронный ресурс] – URL: <https://termogorod.ru/stati/distantcionnoe-upravlenie-otopleniem-zagorodnogo-doma>



### **СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

#### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КОМПОЗИТА NiTi-TiB<sub>2</sub>**

*А.Ю. Арляпов, к.т.н., доц. \*,  
С.Ю. Волков, аспирант\*,  
А.С. Жуков, д-р ф.-м. наук\*\*,  
В.В. Промахов, к.т.н. \*\**

*\*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-60-63-90*

*E-mail: [Arlyapov@tpu.ru](mailto:Arlyapov@tpu.ru)*

*\*\*Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,36*

Аддитивные технологии находят применение в создании изделий из композиционных материалов с уникальными эксплуатационными характеристиками. Однако для обеспечения требований к точности формы, размеров и качеству поверхностей эти изделия должны быть обработаны резанием на металлорежущих станках, но рекомендации по выбору режущего инструмента и режимов обработки в литературе отсутствуют [1].

В лаборатории высокоэнергетических систем и новых технологий ТГУ разработаны композиционный материал NiTi-TiB<sub>2</sub>, предназначенный для производства турбинных лопаток, и метод его получения с применением лазерного спекания [2]. Фотография спеченной заготовки приведена на рис. 1.



Рис. 1. Фотография спеченной заготовки из композита NiTi-TiB<sub>2</sub>

Задачей данной работы являлось определение оптимальных режимов фрезерования концевыми фрезами полученного композита. Критерием оптимальности служила стойкость фрез. Эксперименты выполнялись на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ модели VF1 фирма «Haas» (США). Обработку выполняли по схеме попутного фрезерования. Износ инструмента оценивали по величине фаски износа на задней поверхности. Для определения оптимальной скорости резания обработку проводили на двух режимах:  $V_1=25$  м/мин и  $V_2=50$  м/мин. При этом подача на зуб  $S_z$ , глубина  $t$  и ширина  $B$  фрезерования оставались постоянными:  $S_z=0.04$  мм/зуб;  $t=1$  мм и  $B=4$  мм.

Для определения оптимального соотношения глубины и ширины фрезерования, при котором стойкость фрезы будет наибольшая, было принято два варианта соотношения  $t$  к

В, причём в обоих вариантах обеспечивали одинаковую производительность (рис. 2). Так для фрезы №1 глубина фрезерования составила  $t=2$  мм, ширина  $B=2$  мм; для фрезы №2 глубина  $t=0.5$  мм, ширина  $B=8$  мм.

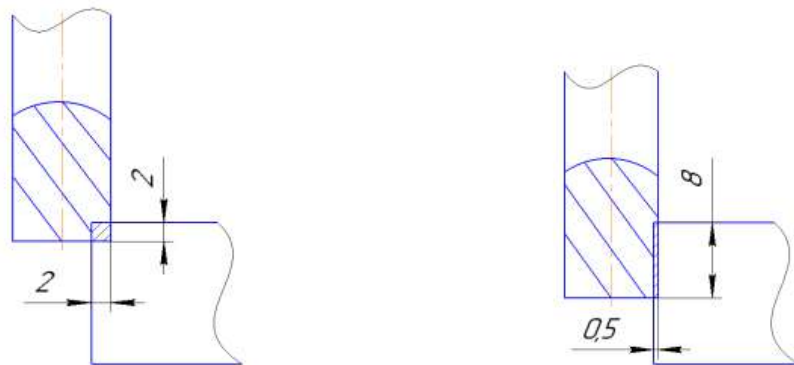


Рис. 2. Схемы фрезерования

Установлено, что основной износ происходит по задней поверхности зуба фрезы (рис. 3).

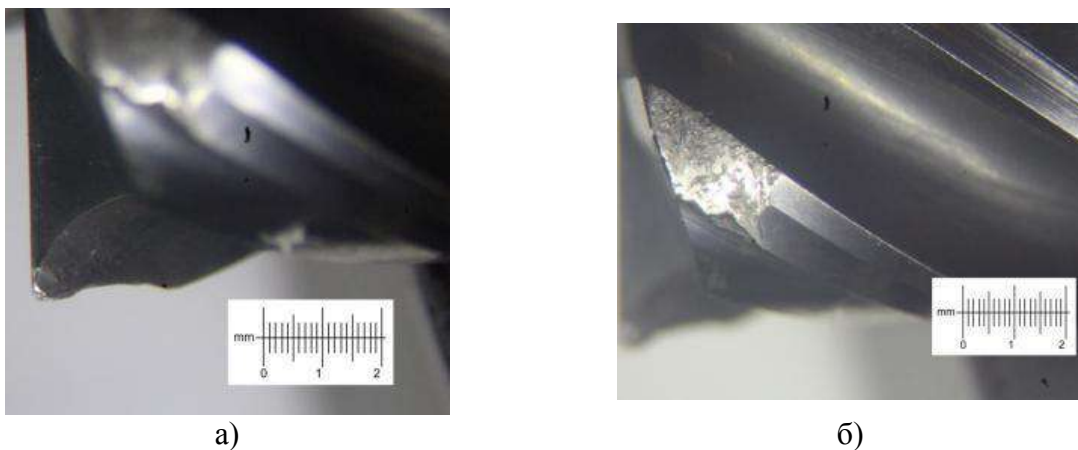


Рис. 3. Фотография износа фрезы №1 с соотношением 1:1 по передней (а) и задней (б) поверхности

Было выявлено, что критическим износом для работы по данному композиту является значение от 0.1 до 0.15 мм, при достижении этих значений происходит резкое увеличение вибрации и снижение стойкости.

При фрезеровании на скорости 50 м/мин практически отсутствует зона нормального износа, стойкость фрезы не более 8 минут, а при скорости 25 м/мин стойкость составила более 25 минут (рис. 4).

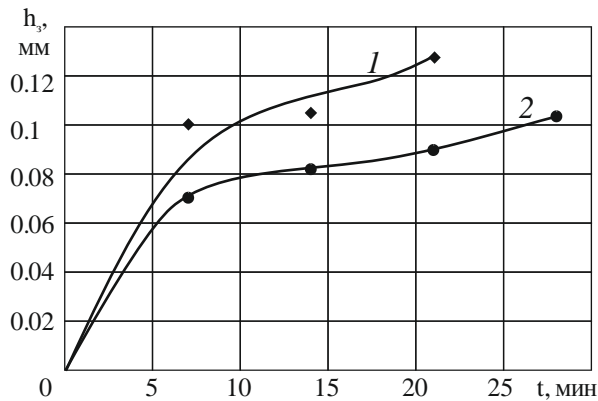


Рис. 4. График зависимости величины износа по задней поверхности от времени:

1 –  $V=50$  м/мин; 2 –  $V=25$  м/мин

Оптимальной для работы является схема фрезерования, при которой значение глубины фрезерования во много раз меньше ширины. Стойкость фрезы, работающей при отношении 1:16 при прочих равных режимах почти в 3 раза выше, чем при отношении 1:1 (рис. 5).

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 19-48-703019 и гранта Президента Российской Федерации СП-724.2019.1.

#### Список литературы:

1. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении/Справочник. – М.: «Машиностроение», 2002. –264 с.
2. Promakhov V. et al. Inconel 625/TiB<sub>2</sub> Metal Matrix Composites by Direct Laser Deposition //Metals. – 2019. – Т. 9. – №. 2. – С. 141.

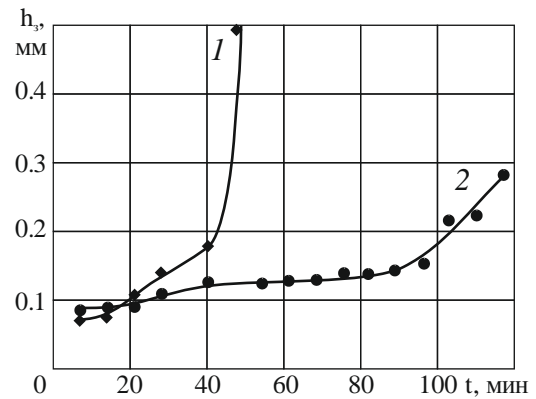


Рис. 5. График зависимости величины износа по задней поверхности от схемы работы:

1 – фреза №1; 2 – фреза №2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИПУСКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕХАНООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

*А.С. Бачурин, преподаватель,  
Н.В. Курлаев, д.т.н., доц.*

*Новосибирский государственный технический университет,  
630073, г. Новосибирск, просп. К.Маркса, 20,  
тел.(383)-346-06-09*

E-mail: [svs@craft.nstu.ru](mailto:svs@craft.nstu.ru)

Необходимость повышения ресурса современных летательных аппаратов приводит к увеличению количества крупногабаритных фрезерованных деталей в их конструкции. Широкое внедрение автоматизированной механообработки на предприятиях авиационной отрасли позволяет снизить затраты на производство таких деталей. Особенно это касается деталей сложной формы, таких, как рама переплёта фонаря самолета SSJ-100 (рис.1).

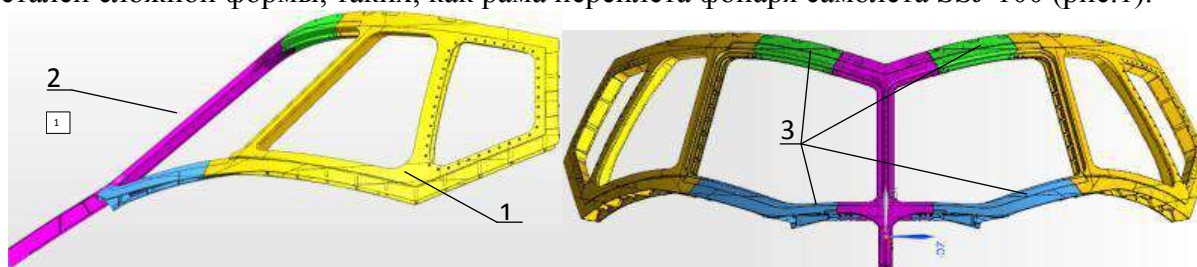


Рис. 1. Переплёт фонаря самолета SSJ-100:

1- боковая рама переплёта; 2 - центральная стойка; 3 - балки переплёта

Средством решения такой задачи может служить численное моделирование закалки сечения заготовки детали [1]. В настоящей статье определены параметры математического моделирования в конечно-элементном пакете, позволяющие достигнуть приемлемой точности решения связанной задачи закалки. Разработана процедура для конечно-элементного пакета ANSYS, позволяющая моделировать процесс погружения детали в закалочную среду. Моделирование закалки проводилось в плоской постановке для произвольного сечения детали с различными вариантами припуска.

На раме переплёта выделялись характерные сечения, на которые назначался равномерный припуск в размере в интервале 3-9мм (рис. 2).

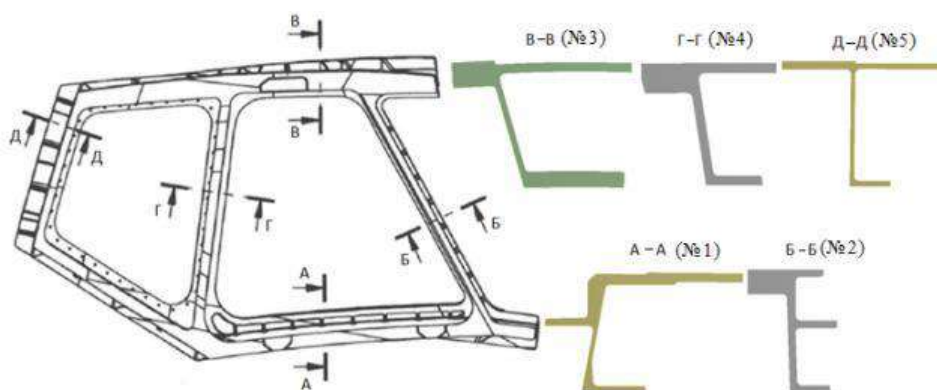


Рис. 2. Эскиз рамы переплёта фонаря и характерных сечений

Физико-механические свойства материала АК6 и коэффициент теплообмена принимались зависимыми от температуры.

В рамках рассматриваемой задачи было бы желательным иметь инструмент, позволяющий определять величину припуска, не соответствующую минимально возможной величине термических напряжений, а минимальной величине остаточных деформаций, – как оптимального сочетания максимально наблюдаемой разнице температур, так и геометрических характеристик.

Исходя из описанных соображений автором предлагается показатель:

$$Pv = \frac{J_x}{S \cdot \Delta t_{max}} \quad (1)$$

где  $J_x$  – геометрический момент инерции относительно оси перпендикулярной оси погружения "у",  $S$  – площадь сечения,  $\Delta t_{max}$  – максимальная разница температур, наблюдаемая при охлаждении заготовки с данным припуском.

Показатель (1) позволяет учитывать не только характеристику жесткости сечения, но и неоднородность теплового поля, возникающую при закалке.

Для каждого сечения заготовки производился расчет согласно предложенной автором новой зависимости (1). Результаты для прямоугольного сечения заготовки размерами 100×120мм, используемого ранее на производстве, составляют  $Pv_y = 3,26 \text{ мм}^2/\text{°C}$ ;  $Pv_x = 2,27 \text{ мм}^2/\text{°C}$  ( $Pv_y$  – погружение вдоль размера 120 мм;  $Pv_x$  – погружение вдоль размера 100мм). Результаты для характерных сечений рамы показаны на рис.3. Как можно видеть, ни один из равномерных припусков не демонстрирует значение  $Pv$  (значение  $Pv$  для сечений заготовки с равномерным припуском приводится без коэффициента ввиду фиксированного положения сечений в детали и невозможности их взаимного вращения) меньше, чем у заготовки с прямоугольным сечением.

Если проанализировать полученные графики  $Pv$  (см. рис.3), то можно заметить, что они все обладают явным максимумом значения  $Pv$ , соответствующего припуску 4,5-5,5мм, в зависимости от сечения. Таким образом, получаем диапазон допустимых припусков. Однако назначение припуска ниже 5,5 мм является нежелательным из-за снижения жесткости заготовки. Таким образом, округляя припуск 5,5 мм, получаем рабочее значение припуска в 6мм.

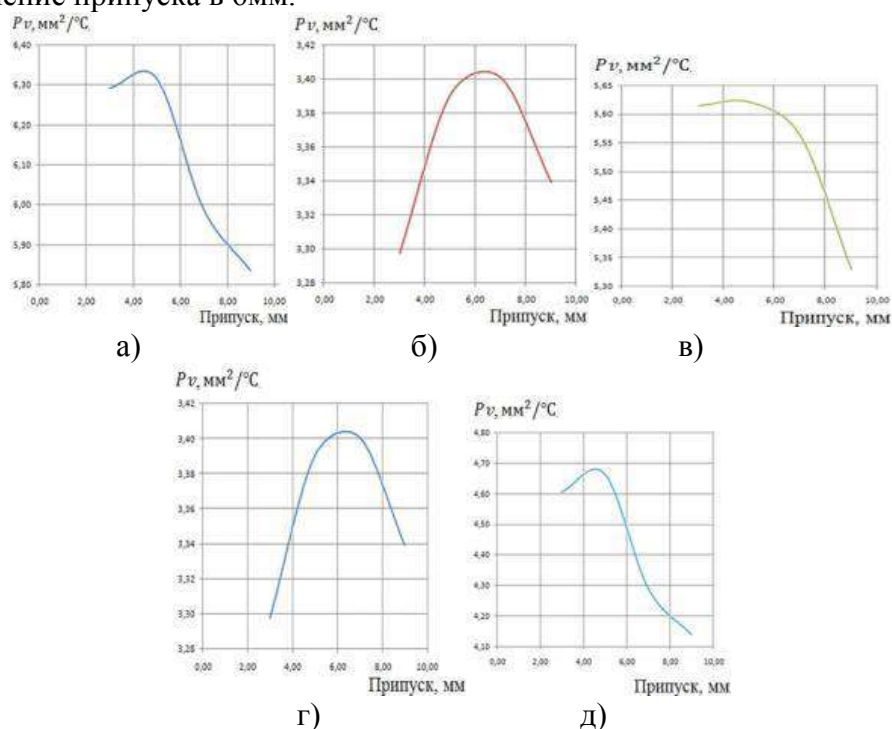


Рис. 3. Значение  $Pv$  в зависимости от величины припуска:

а) сечение №1; б) сечение №2; в) сечение №3; г) сечение №4; д) сечение №5

Округлять величину расчетного припуска до целочисленного значения является предпочтительным ввиду таких факторов как: наличия дефектного слоя, возникающего при закалке; необходимость выполнения как черновых, так и чистовых операций фрезерования; необходимость вписывания детали в деформированную после закалки заготовку.

Далее производилось изменение управляющих программ для станков с ЧПУ. Обработка на эквидистанту на 6мм производилась заодно с операцией вырезки заготовки из поковки. Таким образом, сохранялось общее количество операций механической обработки и не увеличилось количества операций фрезерования. Далее производилась верификация управляющих программ с целью определения столкновений движущихся частей станка и заготовки, а также проверки на наличие зарезов заготовки. Верификация проводилась в программе Vericut, полученная в результате заготовка представлена на рис.4. Ввиду снижения массы заготовки (с 200кг до 114кг) и ожидаемого снижения уровня поводок на поверхности заготовки были предусмотрены поверхности базирования и установки в приспособления [2,3].



Рис. 4. 3D модель заготовки с равномерным припуском 6 мм

Максимальная толщина новой заготовки составила 60мм, время выдержки сократилось до 120 минут с учетом выхода печи на режим 4 часа, что на час меньше времени выдержки предыдущей заготовки.

Также было решено провести оценку величины поводок новой заготовки, для этого на поверхности заготовки были сделаны цилиндрические выступы. Измерение координат центров торцов данных цилиндров производилось до и после закалки, карта отклонений показана на рис. 5.



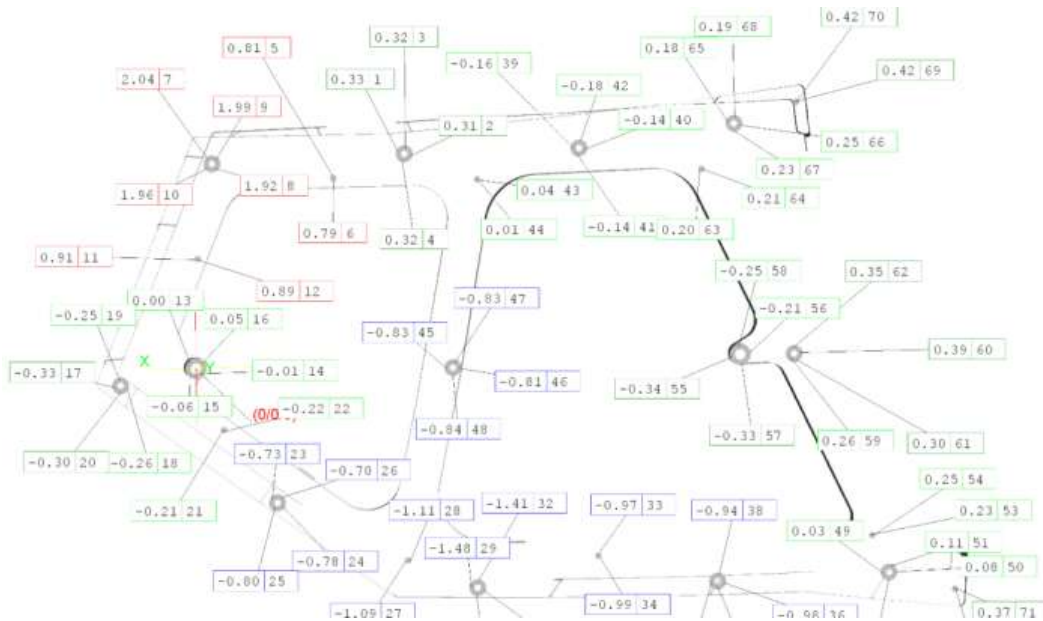


Рис. 5. Результаты измерения новой заготовки с равномерным припуском

Максимальное отклонение составило +2,04мм. Максимальное же отклонение в заготовке до изменения было 4,8мм. Как можно видеть, поводки после закалки заготовки снизились более чем в два раза.

Далее рама переплета фонаря проходила последующие операции чернового и чистового фрезерования аналогичные тем, что применялись до изменения заготовки. После выполнения чистовых операций, завершения этапа механической обработки, рама переплета фонаря проходила необходимый контроль геометрии и сравнивалась с 3D моделью. Результаты сравнения представлены на рис. 6.

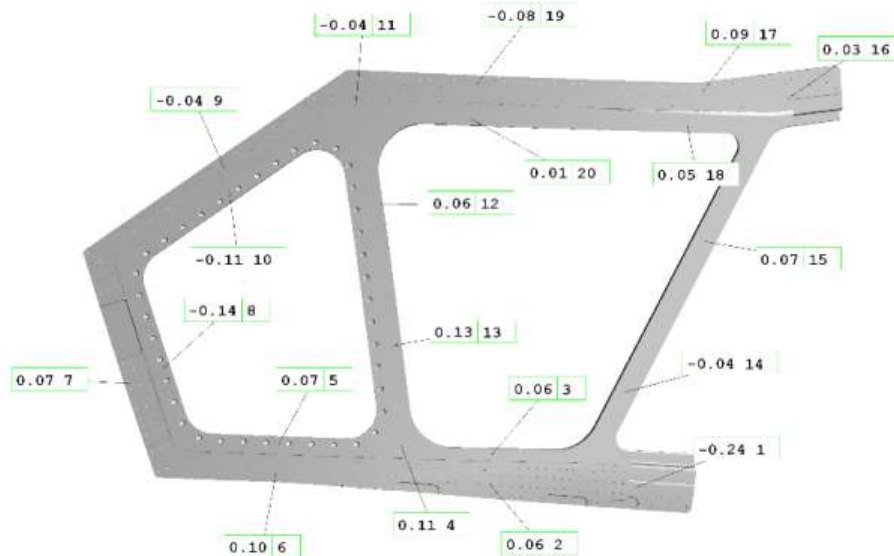


Рис. 6. Отклонения готовой рамы от электронной модели

В целом можно констатировать снижение отклонения готовой детали от 3D модели. Уровень деформаций заготовки не повлиял на вписываемость детали в заготовку, припуск составлял большее значение, нежели поводки заготовки (максимальное отклонение 2,04мм). Также заготовка без затруднений фиксируется в приспособлениях в виду снижения поволодок заготовки. Предельно допустимые отклонения на аэродинамические обводы составляют  $\pm 0,5$ мм, предельные отклонения толщин  $+0,2/-0,3$ мм. Контрольная операция по измерению отклонений геометрии рамы от электронной модели проводилась

на контрольно-измерительной машине AcuraZeiss. Полученные отклонения не превышают  $+0,1/-0,24$ мм, что удовлетворяет требованиям точности изготовления детали.

Проведенные изменения технологического процесса позволили производить раму переплета фонаря с должным качеством, отказаться от дополнительных механических операций по постепенному удалению припуска (для обеспечения не занижения стенок) и операций рихтовки, снизить время выдержки в электропечи для нагрева под закалку. Это позволило снизить затраты и время производства рамы переплета фонаря, исключая брак при производстве.

### **Список литературы:**

1. Бачурин А.С., Бобин К.Н., Матвеев К.А., Курлаев Н.В. Численное моделирование влияния припуска на величину остаточных напряжений в деталях летательных аппаратов после закалки // Вестник СибГАУ, 2013. № 3. – С. 123.
2. Бачурин А.С., Матвеев К.А., Курлаев Н.В. Влияние технологического припуска на остаточные напряжения деталей самолета // VII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения».- Томск: ТПУ, 2013. – С. 279.
3. Синго С. Быстрая переналадка: Революционная технология оптимизации производства - М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. — 344 с.



**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ  
ЦИЛИНДРОВ И НАТЯГА НА ОКРУЖНЫЕ ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ,  
ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ОДНОЦИКЛОВОМ ДОРНОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ**

*А.О. Бознак, к.т.н.,*

*А.Ю. Арляпов, к.т.н.*

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

*тел. +7 (3822) 60-63-89*

E-mail: [boznakao@gmail.com](mailto:boznakao@gmail.com)

После дорнования отверстий в деталях типа толстостенных цилиндров (со степенью толстостенности  $D/d \geq 3$ , где  $d$  – диаметр их отверстий, а  $D$  – их наружный диаметр) формируются существенные по величине макронапряжения, обусловленные несовместностью пластических деформаций по толщине стенки [1-3]. Как правило, наибольшими по величине являются окружные остаточные напряжения  $\sigma_\theta$  [1-5]. Величина этих напряжений, как показали исследования [1-7], главным образом определяется натягом дорнования  $a$ , степенью толстостенности цилиндров  $D/d$ , а также механическими свойствами их материала. Увеличение степени толстостенности цилиндров и натяга дорнования сопровождается ростом окружных остаточных напряжений [3-5], а влияние схемы обработки (растяжения или сжатия) и скорости движения дорна является незначительным [8, 9]. В работе [10] отмечено, что и длина цилиндров  $L$  (глубина отверстий) может существенно влиять на величину формирующихся остаточных напряжений, однако влияние это оказывается неоднозначным. В частности, при обработке цилиндров с  $D/d = 3$  их длина существенно сказывается на окружных остаточных напряжениях [10]. С уменьшением их длины окружные остаточные напряжения у отверстия в зависимости от натяга дорнования могут как возрасти, снизиться, так и оставаться практически неизменными по величине [10]. При этом, влияние длины цилиндров с  $D/d = 5$  на эти напряжения практически отсутствует [10].

Так как влияние длины цилиндров с  $D/d = 3$  на окружные остаточные напряжения изменяется с ростом натяга, можно предположить, что данные параметры оказывают совместное влияние, которое не может быть описано простой зависимостью. Вместе с тем, остаточные напряжения в поверхностном слое являются одним из важнейших параметров качества поверхности, существенно влияющим на эксплуатационные показатели деталей машин (усталостную прочность, износостойкость, контактную жесткость и т.д.) [1, 2, 7, 11], поэтому выявление закономерностей формирования этих напряжений при дорновании является важной практической задачей.

Для выявления совместного влияния натяга дорнования  $a$ , степени толстостенности цилиндров  $D/d$  и относительной глубины их отверстий  $L/d$  на окружные остаточные напряжения  $\sigma_\theta$ , был проведен эксперимент на образцах из стали 50 (НВ 2170...2290 МПа,  $\sigma_{0,2} \approx 470$  МПа) с диаметром отверстий  $d = 5$  мм и степенью толстостенности  $D/d$  равной 2, 3, 4 и 5. Относительная глубина отверстий образцов  $L/d$  принималась равной 1, 2, 4 и 8. Отверстия получали сверлением спиральными сверлами с последующим развертыванием ручными развертками. Дорнование выполняли на испытательной машине УМЭ-10ТМ с помощью специального приспособления [5] за один цикл по схеме со сжатием. При этом использовали однозубые дорны из твердого сплава ВК8 с углами рабочего и обратного конусов  $6^\circ$  и шириной соединяющей их цилиндрической ленточки 3 мм. Натяги дорнования  $a$  составляли 0,9; 3,3; 5,2 и 7,1%. В качестве смазочного материала при дорновании применяли масляную СОЖ МР-7. Скорость дорнования была равна 8 мм/с.



растягивающих остаточных напряжений. При больших степенях толстостенности для каждого ее значения существует такая относительная глубина отверстия, при которой натяг дорнования практически не влияет на окружные остаточные напряжения. Например, для  $D/d = 2$  это  $L/d = 1$  (Рис. 1, а), а для  $D/d = 3$  это  $L/d = 2$  (Рис. 2, а). При меньших относительных глубинах отверстия увеличение натяга приводит к росту сжимающих остаточных напряжений, а при больших, соответственно, к их снижению (Рис. 1 и 2).

Наблюдаемые закономерности свидетельствуют о том, что зависимость окружных остаточных напряжений, сформированных в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах, от исследуемых факторов ( $D/d$ ,  $L/d$  и  $a$ ) является сложной, в которой влияние одних факторов нивелируется влиянием других и наоборот.

### Список литературы:

1. Мазеин, П. Г. Моделирование формирования остаточных напряжений и деформаций при поверхностном пластическом деформировании стальных деталей : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 05.02.08 / Мазеин Петр Германович. – Челябинск, 1994. – 35 с.
2. Монченко, В. П. Эффективная технология производства полых цилиндров / В. П. Монченко. – М. : Машиностроение, 1980. – 248 с.
3. Розенберг, А. М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг. – Киев : Наукова думка. 1990. – 320 с.
4. Скворцов, В. Ф. Остаточные напряжения при дорновании отверстий малого диаметра в полых толстостенных цилиндрах с большими натягами / В. Ф. Скворцов, И. С. Охотин, А. Ю. Арляпов // Известия Томского политехнического ун-та. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 24-27.
5. Скворцов, В. Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра / В. Ф. Скворцов, А. Ю. Арляпов, И. С. Охотин // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2012. – № 2. – С. 1-24.
6. Проскураков, Ю. Г. Объемное дорнование отверстий / Ю. Г. Проскураков, В. Н. Романов, А. Н. Исаев. – М. : Машиностроение, 1984. – 223 с.
7. Розенберг, А. М. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко, Э. К. Посвятенко. – Киев : Наукова думка, 1977. – 188 с.
8. Скворцов, В. Ф. Остаточные напряжения при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах по схемам сжатия и растяжения / В. Ф. Скворцов, Р. С. Цыганков, А. О. Бознак, В. С. Федотов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 3. – С. 45-50.
9. Farhangdoost, K. The effect of mandrel speed upon the residual stress distribution around cold expanded hole / K. Farhangdoost, A. Hosseini // Procedia Engineering. – 2011. – Т. 10. – С. 2184-2189.
10. Скворцов, В. Ф. Влияние длины толстостенных цилиндров на остаточные напряжения, возникающие при одноцикловом дорновании отверстий / В. Ф. Скворцов, А. О. Бознак // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 1. – С. 20-26.
11. Кувалдин, Ю. И. Технологические остаточные напряжения и их влияние на точность механической обработки резанием / Ю. И. Кувалдин. – Киров : КирПИ, 1991. – 80 с.
12. Скворцов, В. Ф. Применение метода Н. Н. Давиденкова для оценки окружных остаточных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах / В. Ф. Скворцов, А. Ю. Арляпов, А. О. Бознак, И. И. Оголь // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 4. – С. 65-70.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКА ДИАМЕТРА ПЛАСТИКОВОЙ НИТИ, ПРОИЗВОДИМОЙ НА КОМПАКТНОМ ЭКСТРУДЕРЕ IT-PRINT

*И.В. Васильев\**,  
*Е.А. Ефременков\*\**

*\*Томский университет систем управления и радиоэлектроники*

*\*\*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

E-mail: [robovasilyev@gmail.com](mailto:robovasilyev@gmail.com)

3D-печать в наше время распространена среди широкого круга людей от специалистов, использующих этот цифровой инструмент при решении своих профессиональных задач, до любителей, которые приобретают, как правило, недорогие 3D-принтеры для воплощения своих инженерно-творческих идей [1].

Качество изделия, полученного по технологии 3D-печати, напрямую зависит от качества пластиковой нити, используемой в процессе изготовления данного изделия. Поэтому исследование параметров пластиковой нити, влияющих на качество процесса 3D печати, является актуальным [2].

Экструдер IT-PRINT был разработан на кафедре управления инновациями Томского университета систем управления и радиоэлектроники [3]. Данное оборудование позволяет производить пластиковую нить такого же качества, что и промышленные профессиональные экструдеры. И в данной работе это будет доказано путём оценки главного параметра пластиковой нити, влияющего на качество 3D-печати, – допуска диаметра пластиковой нити.

Разработанный экструдер позволяет производить пластиковую нить методом свободной экструзии двумя способами (рис. 1). При этих способах произведенная нить будет иметь различные точностные характеристики.

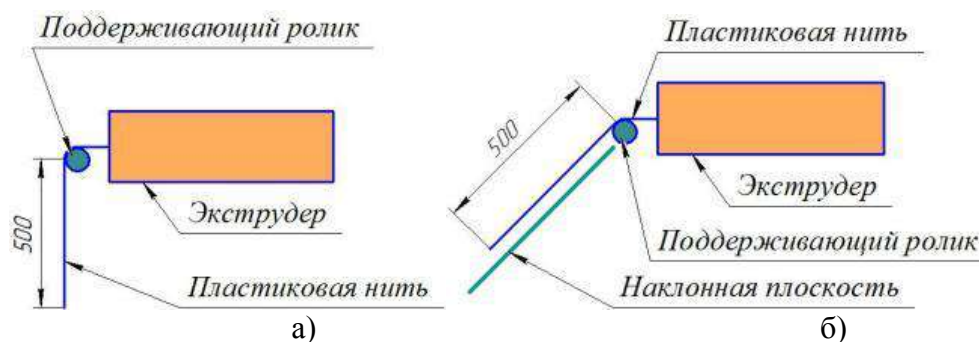


Рис. 1. Основные способы экструзии пластиковой нити в компактных экструдерах:  
а) –экструзия с поддерживающим роликом; б) – экструзия на наклонную плоскость

Очевидно, что экструзия на наклонную плоскость будет более перспективна с практической точки зрения производства пластиковой нити, чем экструзия с поддерживающим роликом. Поэтому в данной работе будет проведено сравнение промышленных образцов пластиковой нити и образцов, полученных на установке IT-PRINT с экструзией на наклонную плоскость.

На лабораторном экструдере IT-PRINT получено по 5 образцов пластиковой нити длиной 500 мм. Для контроля точности диаметра полученной пластиковой нити использовался штангенциркуль с цифровой индикацией и ценой деления 0,01 мм.



Образцы пластиковой нити, получаемые на лабораторном экструдере IT-PRINT, производятся из гранул пластика ABS при температуре 230 °С.

Полученные результаты измерений представлены в виде графика (рис. 2).

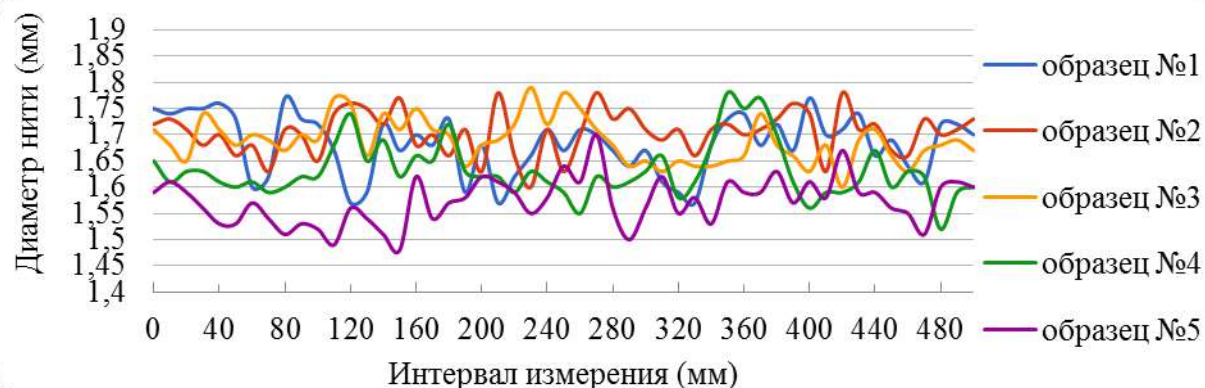


Рис. 2. График изменения диаметра пластиковой нити при экструзии на наклонную плоскость

Как видно из графика (рис. 2), при методе свободной экструзии на наклонную плоскость лабораторный экструдер IT-PRINT производит пластиковую нить достаточно стабильного диаметра. В данном случае условное отклонение составляет  $\pm 0,15$  мм.

Для исследования промышленных образцов с катушки взято 5 отрезков пластиковой нити длиной по 500 мм. Производитель заявляет, что пластиковая нить имеет диаметр  $\varnothing 1,75$  мм с допуском  $\pm 0,1$  мм. Также штангенциркулем с ценой деления 0,01 мм выполнены замеры диаметров этих образцов. Для удобства восприятия результаты замеров представим в виде графика (рис. 3).

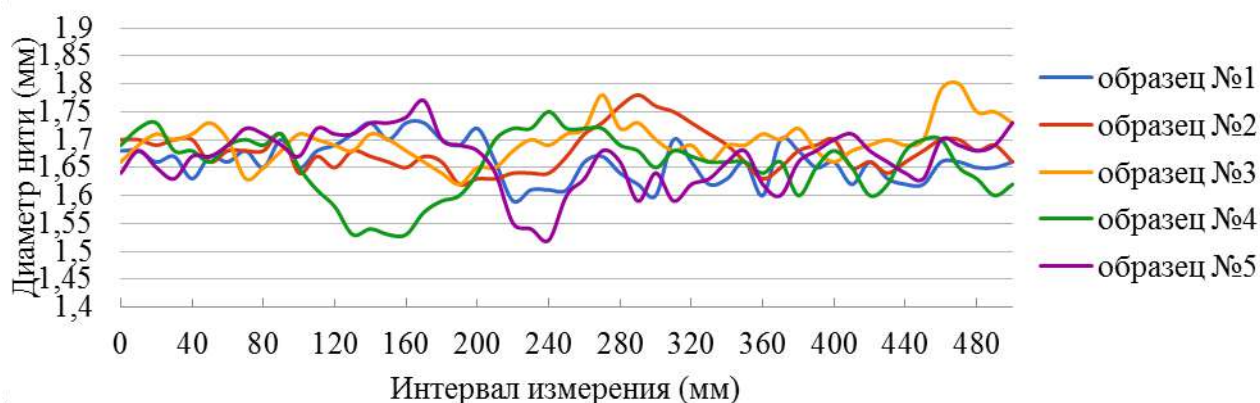


Рис. 3. График изменения диаметра пластиковой нити, полученной промышленным путём, на протяжении её длины

Как видно из рис. 3, разброс диаметра промышленной пластиковой нити находится в пределах 0,3 мм и изменяется от 1,52 мм до 1,80 мм. Надо заметить, что отклонение от номинала ( $\varnothing 1,75$  мм) в основном идет в «минус» и не укладывается в заявленные требования точности  $\pm 0,1$  мм. Если же рассматривать в качестве номинала  $\varnothing 1,65$  мм, то здесь в целом диаметр достаточно стабилен.

Подводя итог, следует отметить, что получая на лабораторном экструдере IT-PRINT пластиковую нить с номинальным диаметром 1,75 мм, условное отклонение точности составляет  $\pm 0,15$  мм. Таким образом, пластиковая нить, произведённая на лабораторном экструдере IT-PRINT методом свободной экструзии на наклонную плоскость (с наклоном

плоскости 45°), по параметру точности условно может быть пригодна к работе на 3D-принтере.

### Список литературы:

1. Официальный сайт компании Wellzoom. – [Электронный ресурс] / Wellzoom desktop filament extruder – Режим доступа: <http://wellzoomextruder.com/product/wellzoom-desktop-filament-extruder-b/> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 04.04.2019).

2. Московский дилер компании Bestfilament. – [Электронный ресурс] / Почему для вашего 3D-принтера необходимы качественные расходные материалы – Режим доступа: <https://rusabs.ru/blogs/blog/pochemu-dlya-domashnego-3d-printera-neobhodim-kachestvennyu-plastik/> – свободный. – Загл с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 04.04.2019).

3. Васильев И.В., Концов А.В., Кудрявцев Д.Н. Разработка конструкции экструдера для изготовления нити, используемой в 3D-принтере из измельченного пластикового сырья // LXI Студенческая международная научно-практическая конференция Научное сообщество студентов XXI столетия. – Научный журнал "СибАК", сборник «Технические науки», 2014. – С. 55–57.

## ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫГЛАЖИВАНИЯ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*В.П. Кузнецов\**, д.т.н, доц.

*А.С. Скоробогатов\**, к.т.н., м.н.с.,

*В.Г. Горгоц\*\**, к.т.н, доц.,

*С.В. Кузнецов\*\*\**,

\**Уральский федеральный университет, 620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19,*

\*\**Курганский государственный университет, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4,*

\*\*\**ООО «Предприятие «Сенсор», 640027, г. Курган, ул. Омская 78А.*

*тел. (963)002-47-77*

*E-mail: [wpkuzn@mail.ru](mailto:wpkuzn@mail.ru)*

Приоритетным направлением повышения эффективности машиностроительного производства является развитие инновационных технологий изготовления деталей, обеспечивающих уникальные эксплуатационные свойства узлов и агрегатов высоконадежных машин и оборудования. При этом первостепенная проблема состоит в разработке методов финишной обработки поверхностных слоев прецизионных деталей. Высокая точность и жесткость современных станков с ЧПУ и применение новых инструментальных материалов позволяют решать эту проблему путем развития технологии выглаживания, в частности, создания новых конструкций выглаживающего инструмента. В основу методологии проектирования инновационного инструмента положен теоретический подход о взаимосвязи параметров качества и свойств формируемого поверхностного слоя с технологическими и интегральными параметрами управления процессом выглаживания [1]. Блок-схема взаимосвязей параметров процесса представлена на рис. 1.

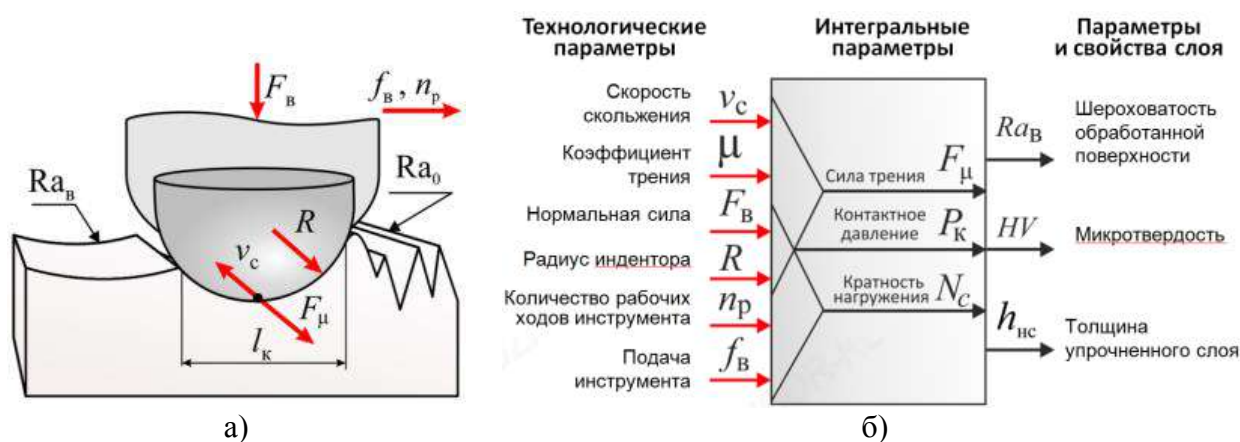


Рис. 1. Схема процесса выглаживания (а) и блок-схема взаимосвязей параметров (б)

Интегральные параметры управления процессом определяют условия нагружения материала и развития пластической деформации для реализации режимов отделочной и отделочно-упрочняющей обработки [1]. С точки зрения современных представлений о модификации поверхностного слоя скользящим сферическим или цилиндрическим индентором для реализации режимов выглаживания необходимо определять следующие интегральные параметры:

1. Контактное давление  $P_k = 4P_B / \pi R^2$ .
2. Сила трения  $F_{\mu} = \mu F_B$ .



3. Кратность циклических воздействий индентора на элементарный объем материала за рабочий ход инструмента в направлении подачи, определяемая как:

$$n_c = \frac{l_k}{f} = \frac{2\sqrt{R^2 - (R - h_{\text{вн}}(F_B, H))}}{f}, \quad (1)$$

где  $h_{\text{вн}}$  – глубина внедрения индентора;  $l_k$  – ширина контактной дорожки (размер пятна контакта);  $H$  – твердость обрабатываемого материала;  $f$  – подача инструмента.

Сформированы требования к инструменту и технологиям отделочного и отделочно-упрочняющего выглаживания.

Отделочное выглаживание (режим сглаживания) осуществляется прежде всего по критериям параметров формируемого микропрофиля ( $R_a$ ,  $R_v$ ,  $S_a$  и др.) и минимального отклонения размера детали  $\Delta l_{\text{мин}}$ . Основным требованием к инструменту и режимам сглаживания являются:

1. Точное назначение нормальной силы  $F_B$  и контактного давления  $P_k$  по твердости  $H$  и пределу текучести материала ( $P_k/\sigma_{0,2}=1,0\dots 1,5$ ) при заданном радиусе индентора  $R$ .

2. Минимизация коэффициента трения  $\mu \rightarrow \mu_{\text{мин}}$  за счет выбора инструментального материала и контактной температуры при высокой скорости скольжения путем охлаждения инструмента.

3. Оптимизация величины подачи  $f$  и количества рабочих ходов инструмента  $n_p$ .

Отделочно-упрочняющая обработка основана на развитии интенсивной пластической деформации сдвига трением. Критериями отделочно-упрочняющей обработки служат требуемые величины микротвердости  $HV_{\text{тр}}$  и остаточных напряжений  $\sigma_{\text{ост тр}}$  и толщины упрочненного слоя  $h_{\text{упр}}$ .

Требования к инструменту и технологии отделочно-упрочняющей обработки направлены на формирование поверхностного слоя с ультрамелкозернистой и нанокристаллической структурой с минимальной шероховатостью и достигается за счет:

1. Выбора материала индентора, силы трения  $F_{\mu}$  и контактного давления  $P_k$ , обеспечивающего развитие ротационно-сдвигового механизма пластической деформации ( $P_k \geq 5$  МПа и  $F_{\mu} \geq 30$  Н) [1].

2. Назначения величины подачи  $f$  и количества рабочих ходов инструмента для достижения максимальных величин  $n_c \geq 12$  и накопленной деформации  $\epsilon > 2$  [3].

3. Создания внутренней системы охлаждения индентора инструмента для обеспечения режима теплой пластической деформации материала  $0,25T_{\text{пл}} < T < 0,60T_{\text{пл}}$  при максимально возможной скорости скольжения, сопоставимой со скоростями финишной обработки резанием (точением, фрезерованием).

Безусловно, при создании нового инструмента должна быть обеспечена его установка в инструментальных магазинах и револьверных головках станков с ЧПУ. Инструментальный материал индентора должен обладать высокой теплопроводностью, минимальной адгезией, высокой стойкостью и шероховатостью рабочей части  $R_a < 20$  нм.

На основе выше приведенного подхода классифицирован, патентно-защищен и серийно производится на предприятии «Сенсор» (г. Курган) инструмент для финишной обработки наружных и внутренних поверхностей на станках с ЧПУ и токарно-фрезерных центрах. Классифицированные по типу крепления на станке инструменты ST1-ST5 для выглаживания наружных цилиндрических и плоских поверхностей деталей приведены на рис.2.



Рис. 2. Инструменты для наружного отделочного выглаживания

На рис. 3 приведен выглаживающий инструмент для отделочно-упрочняющей обработки наружных поверхностей, который классифицирован по типу внутреннего подвода охлаждающего хладагента (СОТС) к индентору.

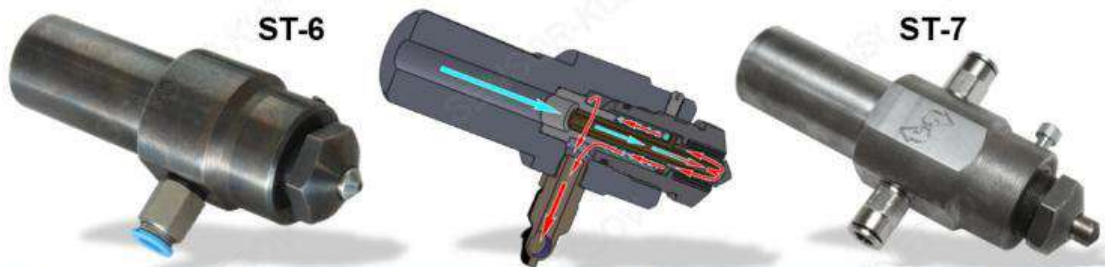


Рис. 3. Инструменты для отделочно-упрочняющей обработки поверхностных слоев с внутренним охлаждением индентора

Установлено, что при отделочно-упрочняющем выглаживании закаленной стали 20X13 микротвердость поверхностного слоя достигает 1200...1600 HV<sub>0,025</sub>, среднее арифметическое отклонение профиля Ra составляет 0,05 мкм и уровень остаточных напряжений  $\sigma_{ост} = -1584$  МПа. Инструмент ST-8 и пример выглаживания внутренних поверхностей цилиндров на токарном вертикальном центре приведен на рис. 4. Исходная шероховатость Ra=1,6 мкм сглаживается до Ra=0,2 мкм на длине цилиндрической поверхности 210 мм.



Рис. 4. Инструмент и пример отделочно-упрочняющей обработки внутренней поверхности

Список литературы:

1. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей. Дис. док. техн. наук. — В.П. Кузнецов.: Курган, КГУ, 2013. — 341 с.
2. Скоробогатов А.С. Управление формированием структуры и свойств поверхностного слоя мартенситных сталей при высокоскоростном наноструктурирующем выглаживании с теплоотводом. Дис. канд. техн. наук. — А.С. Скоробогатов: Екатеринбург, УрФУ, 2018. — 142 с.
3. Kuznetsov V.P., Scorobogotov A.S., Gorgots V.G. Impact of Indentor Sliding Velocity and Loading Repetition Factor on Shear Strain and Structure Dispersion in Nanostructuring Burnishing // Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering. – Vol. 17. – No2. – P.161-168.

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ SLM-ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКА СТАЛИ PH-1

*В.П. Кузнецов, д.т.н., доц.,*

*С.В. Колмаков, аспирант,*

*А.С. Артамонов, аспирант,*

*А.С. Скоробогатов, к.т.н., м.н.с.*

*Уральский федеральный университет, 620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19,  
тел. +7(343)-375-4444*

*E-mail: [wpkuzn@mail.ru](mailto:wpkuzn@mail.ru)*

Селективное лазерное сплавление материалов (SLM) является перспективной аддитивной технологией и может значительно сократить трудоемкость изготовления деталей сложной формы. Метод SLM позволяет получить из порошка металла детали с высокими механическими свойствами, которые несвойственны прототипам после механической обработки. Прежде всего это касается деталей из нержавеющей аустенитных сталей, используемых в деталях трибосопряжений затворов задвижек и клапанов, проводящих водо-газо-нефтяные смеси и агрессивные среды.

Однако одновременно управлять формированием механических свойств материала, а также шероховатостью поверхности изделий весьма затруднительно. В связи с этим разработка технологий финишной постобработки поверхностей SLM-изделий, обеспечивающих формирование требуемых показателей плоскостности, микропрофиля и прочностных свойств материала, весьма актуальна.

Методы финишной постобработки поверхностей деталей, изготовленных с применением аддитивных технологий, рассмотрены в работах [1-4]. В данных исследованиях показано, что для повышения качества и эксплуатационных свойств в основном используются следующие отделочные и упрочняющие технологии постобработки AM-изделий: лазерная микрообработка, вибрационная абразивная обработка, оптическое полирование, ультразвуковое выглаживание и другие.

Ультразвуковое выглаживание поверхностей образцов, сплавленных методом SLM из порошков нержавеющей стали EOS-316L и сплава EOS CobaltChrome SP2 на 3D-принтере EOSINT-280M, рассмотрено в работе Mika Salmi и др. [5]. Применение ультразвукового выглаживания образцов, сплавленных из порошка нержавеющей EOS-стали 316L без последующей термообработки, инструментом со сжатием пружины 1 мм (нормальной силой 180 Н) и подачей 0,025 мм/проход позволило улучшить шероховатость поверхности с  $Ra=13\pm 5$  мкм до среднего значения  $Ra=0,55$  мкм. После ультразвукового выглаживания с усилием 195 Н (сжатие пружины 1,5 мм) относительное увеличение твердости поверхности сплава Co-Cr составило 47,4 % (с  $360\pm 20$  до 551,07 HV10) и 70,7% для стали 316L (со 170 до 338,17 HV10).

Однако в работе [5] исследования ультразвукового выглаживания выполнялись без изучения эволюции структуры и определения толщины модифицируемого слоя. Не установлено количественное влияние подачи инструмента на упрочнение материала и шероховатость поверхности.

**Целью данной работы** является установление влияния ультразвукового выглаживания на станке ULTRASONIC-20 на микроструктуру, микротвердость и шероховатость поверхностного слоя SLM-изделий из порошка EOS PH-1.

Экспериментальные исследования влияния ультразвукового выглаживания выполнены на поверхностях образцов клиньев задвижки DN50, PN 16 МПа, изготовленных из

порошка нержавеющей стали PH-1 (табл. 1) методом SLM. Сталь PH-1 характеризуется хорошей коррозионной стойкостью и механическими свойствами, что необходимо для деталей трибосопряжения запорного органа клиновой задвижки высокого давления.

Таблица 1. Химический состав порошка нержавеющей стали PH-1

Химический элемент	C	Cr	Ni	Cu	Mn	Si	Mo	Nb	Fe
Содержание, масс. %	0,05	14,72	4,69	4,08	0,83	0,41	0,13	0,22	rest

Изготовление АМ-образцов выполнялось на установке EOSINT M280 последовательными слоями толщиной 30 мкм. Для обеспечения требуемой геометрии и плоскостности рабочих поверхностей образцов последующей постобработкой размеры увеличивались на 0,5 мм.

Установка EOSINT M280 имела следующие настройки: скорость сканирования 900 мм/с, размер лазерного пятна 0,1 мм, зазор 100 мкм и мощность 195 Вт. Твердость материала после АМ-процесса составляла  $357 \pm 16$  НВ.

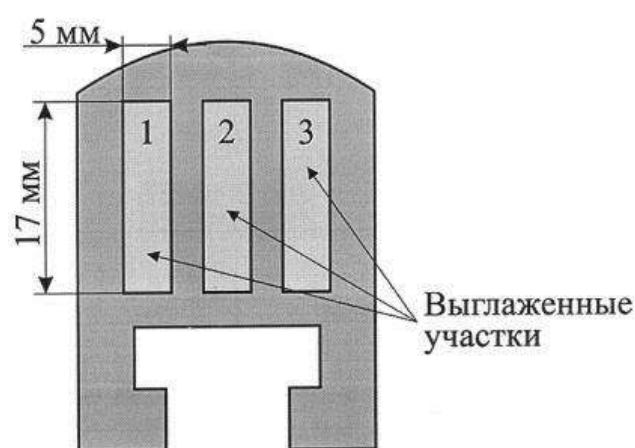
Постобработка поверхностного слоя образцов осуществлялась на станке ULTRASONIC 20 и первоначально включала в себя чистовое фрезерование. Далее осуществлялась притирка и финишная обработка алмазным ультразвуковым выглаживанием с частотой 33,5 кГц.

Среднее арифметическое отклонение микропрофиля клиновых поверхностей трибосопряжения после притирки составляло  $Ra=0,35 \pm 0,05$  мкм. Максимальная высота неровностей профиля равнялась  $R_{max}=11,94 \pm 1,37$  мкм. Микротвердость измерялась на приборе АНОТЕС Есо HARD XM1270С и достигала величины  $418 \pm 9$  НВ<sub>0,05</sub>.

Ультразвуковое алмазное выглаживание поверхностей трибосопряжений клина проводилось инструментом массой 31,33 г в вибродержавке станка ULTRASONIC 20 (рис. 1, а) с силой выглаживания  $F_v=400$  Н и скоростью 10 м/мин. Выглаживалось по три участка на каждой из двух поверхностей трибосопряжений клина. Величина подачи назначалась 0,04; 0,06; 0,08 мм/проход на одной стороне (участки 1-3, рис. 2, б) и 0,12; 0,16; 0,20 мм/проход на другой стороне (участки 4-6).



а)



б)

Рис. 1. Обработка клина на станке ULTRASONIC 20 (а) и схема расположения выглаженных участков (б)

После ультразвукового выглаживания с подачей 0,04 мм/проход микротвердость НВ<sub>0,05</sub> в тонком поверхностном слое до 30 мкм изменяется нестабильно. При этом

формируется уплотненный слой толщиной 3...4 мкм с микротвердостью 435...440 HV<sub>0,05</sub> (рис. 2, а)

При подаче 0,06 мм/проход упрочнение материала до глубины 95...100 мкм происходит нестабильно. Микротвердость изменяется от 435 HV<sub>0,05</sub> до 470 HV<sub>0,05</sub> волнообразно. После глубины  $h=100$  мкм микротвердость постепенно снижается, достигая величины 450 HV<sub>0,05</sub> при  $h\approx 210$  мкм.

При увеличении подачи до 0,08 мм/проход повышается стабильность микротвердости и толщины упрочненного слоя.

Подача 0,12 мм/проход является оптимальной по критериям максимальной средней микротвердости  $495\pm 10$  HV<sub>0,05</sub> в тонком поверхностном слое до 100 мкм и максимальной толщины упрочненного слоя  $h\approx 320$  мкм с микротвердостью HV<sub>0,05</sub> $\geq 450$  (рис. 2, б).

При дальнейшем увеличении подачи инструмента до 0,16 мм и 0,2 мм/проход микротвердость вновь имеет значительный разброс и на глубине 100 мкм снижается до величины 430 HV<sub>0,05</sub>.

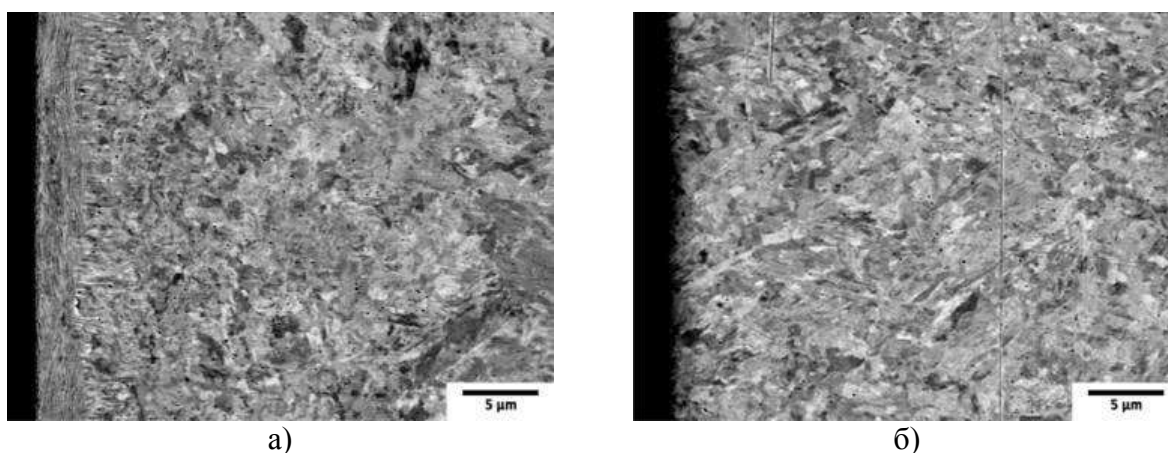


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия поверхностного слоя участков образцов после ультразвукового выглаживания с подачей 0,04 мм/проход (а) и 0,12 мм/проход (б)

Величина среднего арифметического отклонения микропрофиля поверхностей участков после ультразвукового выглаживания достигала минимального значения  $Ra=0,1$  мкм при подаче 0,04 мм/проход и максимального  $Ra=0,35$  мкм при подаче 0,2 мм/проход.

#### Список литературы:

1. Kumbhar N.N., Mulay A.V. Post Processing Methods used to Improve Surface Finish of Products which are Manufactured by Additive Manufacturing Technologies: a review // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. August 2018. – Vol. 99. – Iss. 4. – pp. 481–487.
2. Wong K.V., Hernandez A. A review of additive manufacturing // ISRN Mechanical Engineering. Vol. 2012. 10 p.
3. Campbell R.I., Martorelli M., Lee H.S. Surface roughness visualization for rapid prototyping models // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Volume 79. Issue 5–8. pp. 823–829.
4. Alfieri V., Argenio P., Caiazza F., Sergi V. Reduction of surface roughness by means of laser processing over additive manufacturing metal parts // Materials. 2017. 10(1):30.
5. Salmi M., Huuki J., Ituarte I.F. The ultrasonic burnishing of cobalt-chrome and stainless steel surface made by additive manufacturing // Prog Addit Manuf (2017) 2:31-41.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ШХ15 ПРИ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕМ ВЫГЛАЖИВАНИИ КЛИНОВЫМ СКОльзяЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

В.П. Кузнецов<sup>\*</sup>, д.т.н., доц.,  
А.С. Скоробогатов<sup>\*</sup>, к.т.н., м.н.с.,  
Ю.Б. Червач<sup>\*\*</sup>, к.т.н., доц.,  
В.Г. Горгоц<sup>\*\*\*</sup>, к.т.н., доц.,

<sup>\*</sup>Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,

<sup>\*\*</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

<sup>\*\*\*</sup>Курганский государственный университет, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр.4.  
тел. (343)-375-44-44

E-mail: [wpkuzn@mail.ru](mailto:wpkuzn@mail.ru)

Наноструктурирующее выглаживание, являющееся перспективной технологией финишной обработки, предполагает использование сферического индентора для формирования нанокристаллической структуры в поверхностном слое деталей из конструкционных сталей [1-2]. Однако при использовании сферического индентора в задней относительно движения части, образуется высокий уровень растягивающих напряжений, негативно влияющих на качество формируемого наноструктурированного слоя [2]. В то же время известно, что в случае применения клиновидного индентора данный эффект проявляется в значительно меньшей степени [3-4]. Для решения данной проблемы в работе [5] предложена технология выглаживания клиновым цилиндрическим инструментом (рис. 1) и установлены оптимальные режимы обработки стали ШХ15. Однако в ходе проведенных ранее исследований не было учтено влияние угла клина на контактное трение. В данной работе рассмотрено влияние контактного трения индентора с обрабатываемой поверхностью на формирование наноструктурированного слоя при различных углах наклона клина.

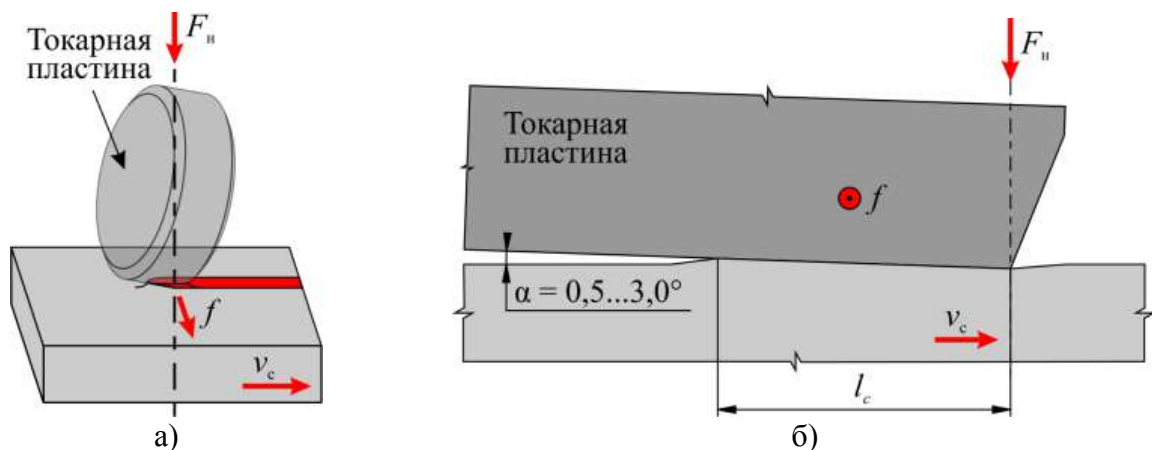


Рис. 1. Схема клинового цилиндрического выглаживания плоской детали

Экспериментальные исследования выполнены на образцах типа "диск" из стали ШХ15 диаметром 90 мм и толщиной 12 мм, которые были предварительно подвергнуты термообработке закалке при температуре 830 °С и отпуску при 300 °С. После термообработки образцы имели структуру отпущенного мартенсита и твердость 56...57 HRC. После предварительной токарной обработки была обеспечена однородная шероховатость поверхности Ra=0,8 мкм.



В рамках экспериментального исследования на образцах были выглажены кольцевые дорожки шириной 15 мм, на каждой из которых токарная пластина была наклонена под различным углом 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0° к обрабатываемой поверхности. Нормальная сила выглаживания была установлена на уровне  $F_N=250$  Н, подача инструмента составляла  $f=0,025$  мм/об. В процессе выглаживания в зону обработки непрерывно подавалась смазочно-охлаждающая технологическая среда FUCHS. Обработка была выполнена на токарном станке KNUTH V-TURN 410. На суппорте станка был установлен трёхосевой динамометр Kistler 9257BA, в котором закреплён выглаживающий инструмент. Динамометр обеспечивал непрерывную запись трёх компонент силы реакции в контакте индентора с обрабатываемой поверхностью.

С помощью динамометра получены временные зависимости нормальной  $F_x$ , радиальной  $F_y$  и тангенциальной  $F_z$  составляющих силы реакции в контакте скользящего индентора в течение всего процесса выглаживания. На основе экспериментальных данных была рассчитана величина контактного коэффициента трения (рис. 2, а).

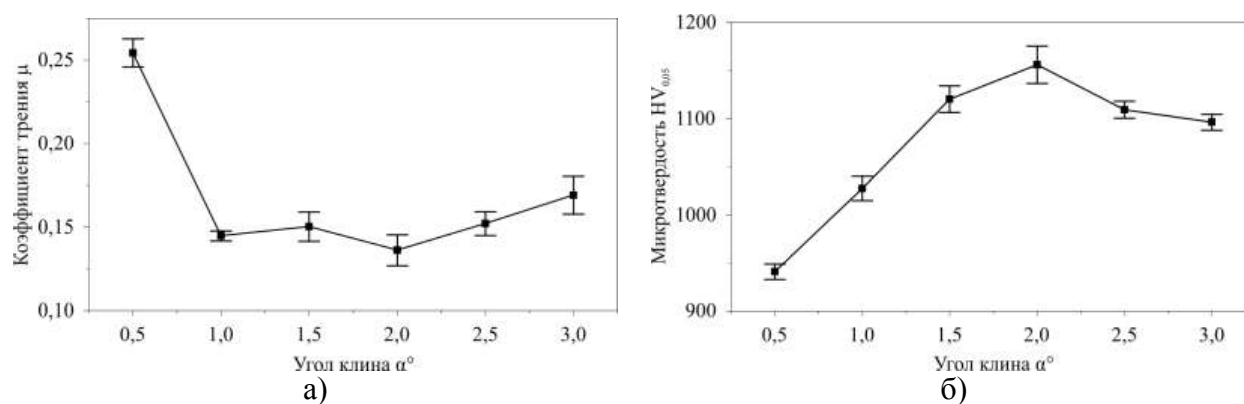
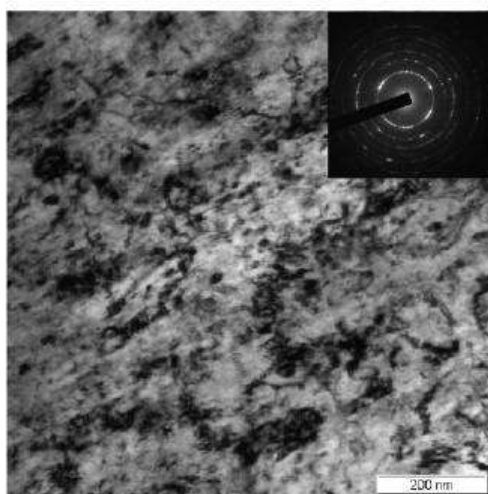


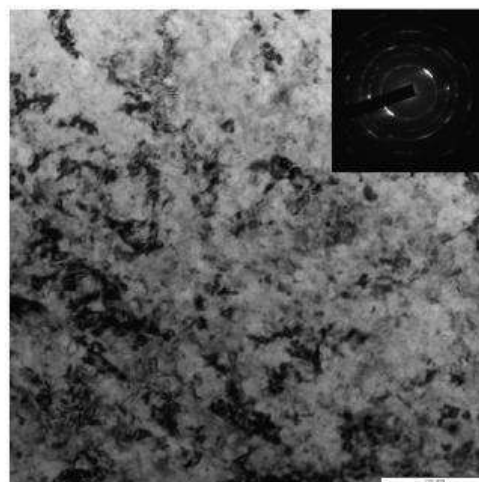
Рис. 2. Зависимости коэффициента трения (а) и микротвердости (б) от угла клина

Измерения микротвердость выглаженных поверхностей были выполнены на микротвердомере Leica VMHT при нагрузке на пирамидку Виккерса 0,05 кгс.

На рис. 2, б показано влияние угла клина на коэффициент трения и микротвердость наноструктурированного слоя.



а)



б)

Рис. 3. Просвечивающая электронная микроскопия поверхностного слоя после выглаживания с углом клина  $\alpha=2,0^\circ$  (а) и  $\alpha=0,5^\circ$  (б)

Формирование наиболее однородной и дисперсной зеренной структуры (рис. 3, а) и наибольшее упрочнение поверхностного слоя обеспечивается при наименьшем коэффициенте трения. Такие условия обеспечиваются при угле клина  $\alpha=2,0^\circ$ . В случае с малым углом клина  $\alpha=0,5^\circ$  наблюдается наибольший уровень фрикционной нагрузки, который, в свою очередь негативно влияет на качество формируемой поверхности. В результате чего при угле  $\alpha=0,5^\circ$  обеспечивается формирование смешанной УМЗ- и нанокристаллической структуры (рис. 3, б), обладающей наименьшей из полученных микротвердостью.

#### Список литературы:

1. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехника. – 2014. – №2. – С. 86-89.
2. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей. Дис. док. техн. наук. — В.П. Кузнецов.: КГУ, 2013. — 341 с.
3. Sundaram N.K., Gou Y., Chandrasekar S. Mesoscale Folding, Instability, and Disruption of Laminar Flow in Metal Surfaces // Physical Review Letters. – 2012. – V. 109. –No. 10. – P. 106001.
4. Wang X. Formation of Nanocrystallized Structure in Worn Surface Layer of T10 Steel against 20CrMnTi Steel during Dry Rubbing // Journal of Nanomaterials. – 2016. – V. 2016. –P. 1–6.
5. Скоробогатов А.С., Белорусец А.М. Наноструктурирование поверхностного слоя стали ШХ15 выглаживанием клиновым цилиндрическим выглаживанием // Сборник материалов XIX Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов — молодых ученых (Екатеринбург, 19-23 ноября 2018 г.). – С.57-61.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ  
ИНСТРУМЕНТА УСТАНОВКИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ НА ТОЧНОСТЬ  
И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛУЧАЕМОГО ИЗДЕЛИЯ**

*Ш.С. Нозирзода,*

*Научный руководитель: С. Е., Бухаченко, к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555  
E-mail: ssn5@tpu.ru*

Аннотация: экономически целесообразно выполнять изготовление деталей сложной конфигурации с применением технологии гидроабразивной резки (ГАР). Однако, при ГАР не всегда возможно получить требуемую точность и качество поверхностей детали. В связи с этим, повышение производительности и точности гидроабразивных установок является актуальной задачей. В данной работе рассматривается влияние статической жесткости на точность и качество поверхностей получаемого изделия.

Ключевые слова: гидроабразивная резка (ГАР), точность, качество, жесткость, установка, система позиционирования.

Гидроабразивная обработка – самый прогрессивный способ высокопроизводительной обработки различных материалов. В связи с влиянием большого количества параметров оборудования и технологии резки разных материалов на точность и качество получаемых поверхностей для совершенствования технологии требуется установление различного рода закономерностей.

В настоящей работе рассмотрено влияние жесткости устройства позиционирования инструмента установки ГАР на точность и качество поверхностей изделия, рабочий чертеж которого представлен на рис.1.

Установочная платформа установки ГАР была разделена на 8 зон резания (рис.4). Резка детали выполнялась в зоне наибольшей конструкционной жесткости устройства позиционирования инструмента установки (зона V) и зоне наименьшей жесткости (зона VI). В данном эксперименте были выбраны 4 образца на две зоны полученные при разных режимах резания: два образца в зоне V при скорости резания Q3 (40 мм/мин) и Q4 (28 мм/мин), а также два образца в зоне VI при скорости резания Q3 (40 мм/мин) и Q4 (28 мм/мин). Режимы резания при ГАР определяются в зависимости от материала заготовки, толщины заготовки с помощью специализированного программного обеспечения.

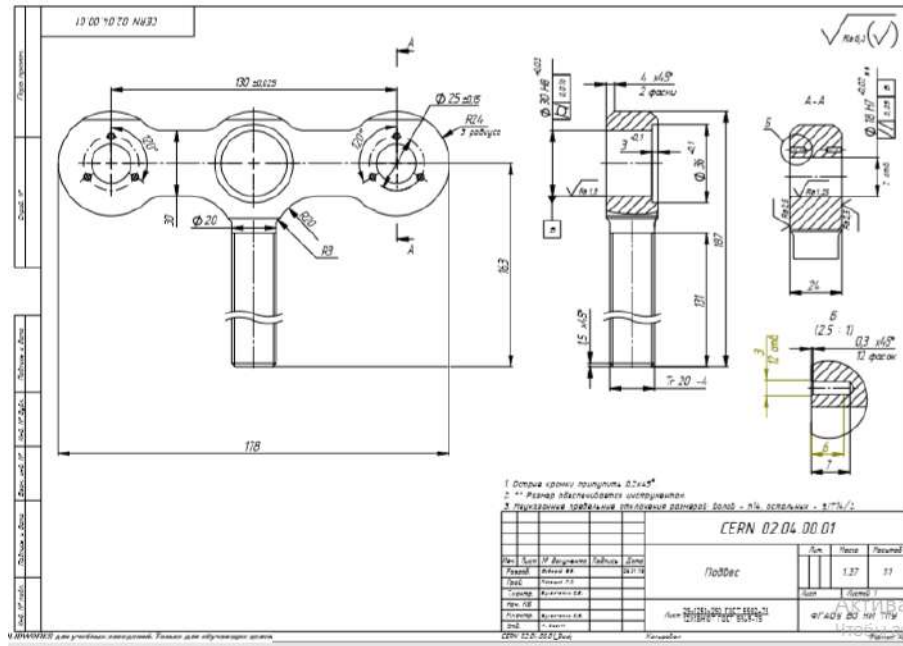


Рис.1 Чертеж детали «Подвеса»

Анализируя полученные данные видно, что при скорости резания Q3 центральное отверстие имеет максимальное отклонение на зоне VI, а при скорости Q4 - в зоне V, имеет более точную форму.

Таблица 1. Результаты измерения экспериментов.

Поверхность	Зона V				Зона VI			
	Режимы обработки							
	Q3		Q4		Q3		Q4	
	отклонение, мм		отклонение, мм		отклонение, мм		отклонение, мм	
Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	
Отверстие (28мм)	0,33	0,78	0,44	0,54	0,55	0,75	0,44	0,82
Отверстие 1 (16мм)	0,58		0,21	0,63	0,36	0,87	0,35	1,07
Отверстие 2 (16мм)	0,31	0,43	0,21	0,60	0,53	0,95	0,43	1,01
Размер 1 (30мм)	0,22	0,73	0,05	0,84	0,60	1,05	0,34	1,24
Размер 2 (30мм)	0,70	1,01	0,39	0,51	0,32	0,91	0,43	0,98

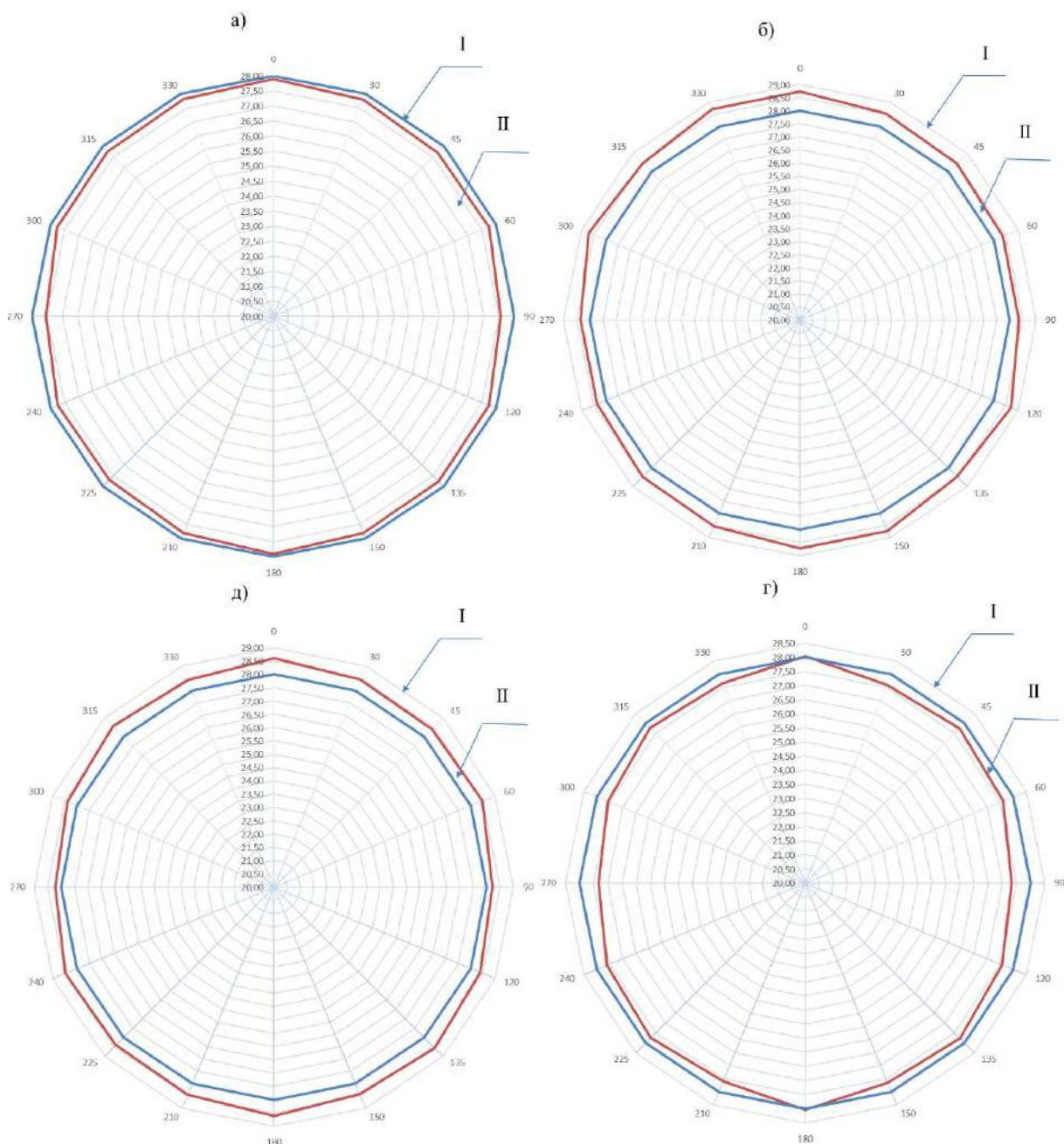


Рис.2. Зависимости изменения технологического (1) и реального (2) диаметров отверстия от угла измерения на входе струи: а - подача Q3, зона V; б – подача Q3, зона – VI;  
в – подача Q4, зоне V; г – подача Q4, зона VI.).



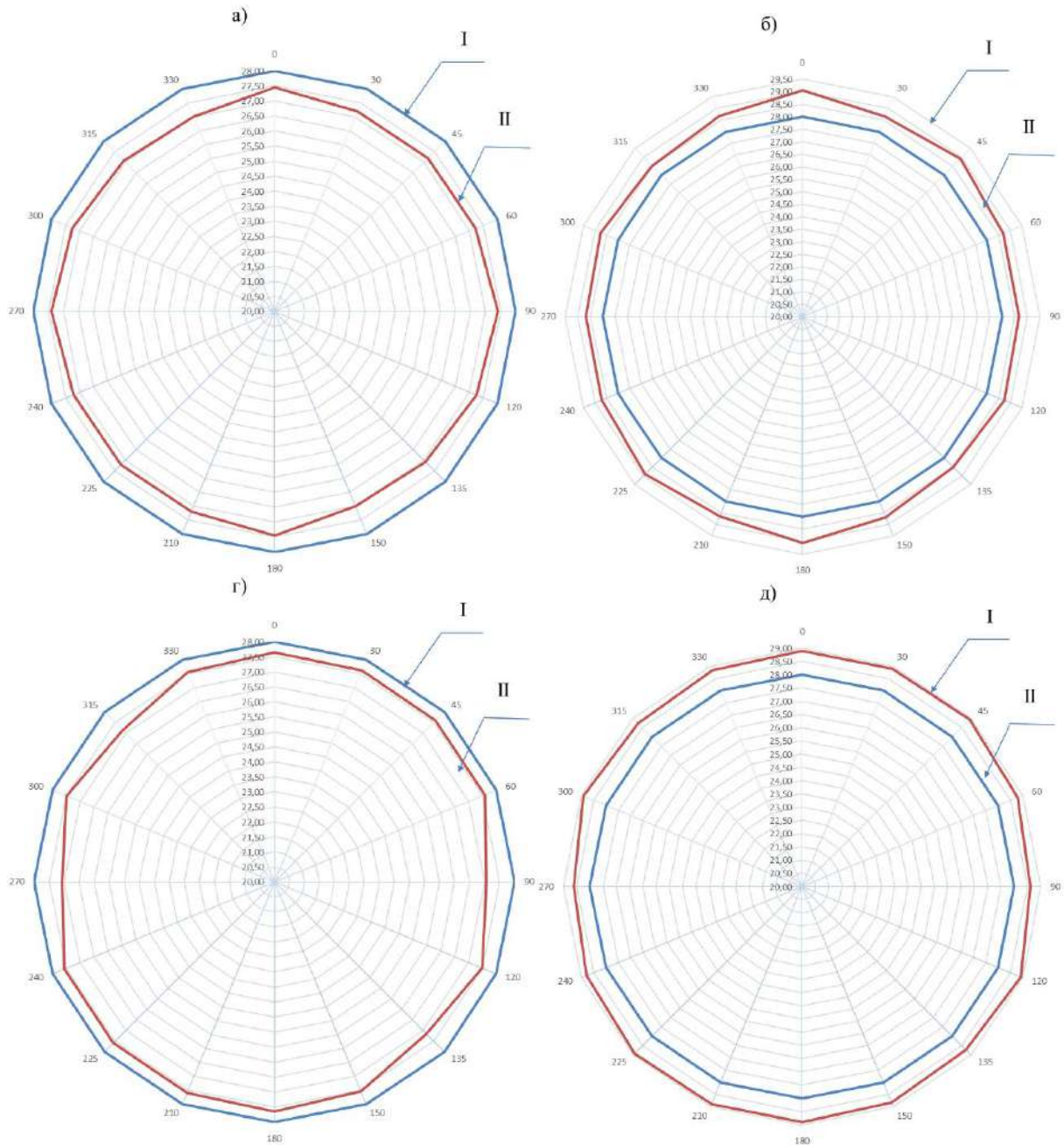


Рис.3. Зависимости изменения технологического (I) и реального (II) диаметров отверстия от угла измерения на выходе струи: а - подача Q3, зона V; б – подача Q3, зона – VI; в – подача Q4, зоне V; г – подача Q4, зона VI.

Данные, полученные в результате измерений, представляют собой наборы координат точек для каждого из отверстий на входе и выходе струи. Графическая интерпретация измеренных точек на входе струи приведена на рис. 2 и на выходе струи - на рис.3. Анализируя результаты изменения диаметра отверстия 30 мм и сравнивая с технологическим размером 28 мм можно отметить, что точность формы отверстия на входе выше чем на выходе, то есть отклонение реальной формы отверстия на входе струи меньше чем на выходе. Это означает, что гидроабразивная установка не дает нам высокую точность формы.

Также рассматривая качество обработанной поверхности, точнее шероховатость внутренних поверхностей отверстия, можно отметить что среднее значение шероховатости в центральные отверстия при скорости Q3 в зоне V было максимально

(Ra2,6), более грубую шероховатость имеет центральное отверстие при скорости резания Q3 в зоне VI.

Прежде всего на точность и качество обработки при гидроабразивной резки влияет жесткость технологической системы. Поэтому необходимо учитывать жесткость устройства перемещения режущей головки гидроабразивной установки. С целью определения жесткости устройства перемещения режущей головки гидроабразивной установки производились ряд экспериментов.

Способность упругой системы при ГАР оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать, называют жесткостью системы гидроабразивной установки. Высокая жесткость системы гидроабразивной установки – одно из основных условий достижения высокой точности при обработке. При отсутствии достаточной жесткости под действием силы резания и других сил при гидроабразивной обработке деформируется, что приводит к искажению формы детали и возникновению отклонения размеров. С жесткостью технологической системы гидроабразивной установки связано явление вибрации. Системы, обладающие большой жесткостью, могут работать на высокопроизводительных режимах резания без появления вибраций.

Жёсткость технологической системы выражается отношением составляющей силы резания, действующей по направлению нормали к обработанной поверхности, к взаимному смещению режущего инструмента и обрабатываемой детали, отсчитываемому в том же направлении:

$$j_i = \frac{P_i}{y},$$

где  $j_i$  – жесткость системы, кН/мм;

$P_i$  – внешняя нагрузка, Н;

$y$  – деформация упругой системы, мм.

При оценке точности изготовления при гидроабразивной резки была исследована жесткость устройства позиционирования инструмента установки гидроабразивной резки на разных плоскостях относительно разных осей. На рисунке 1 показана выбранная система координат для определения статической жесткости системы позиционирования инструмента установки гидроабразивной резки.

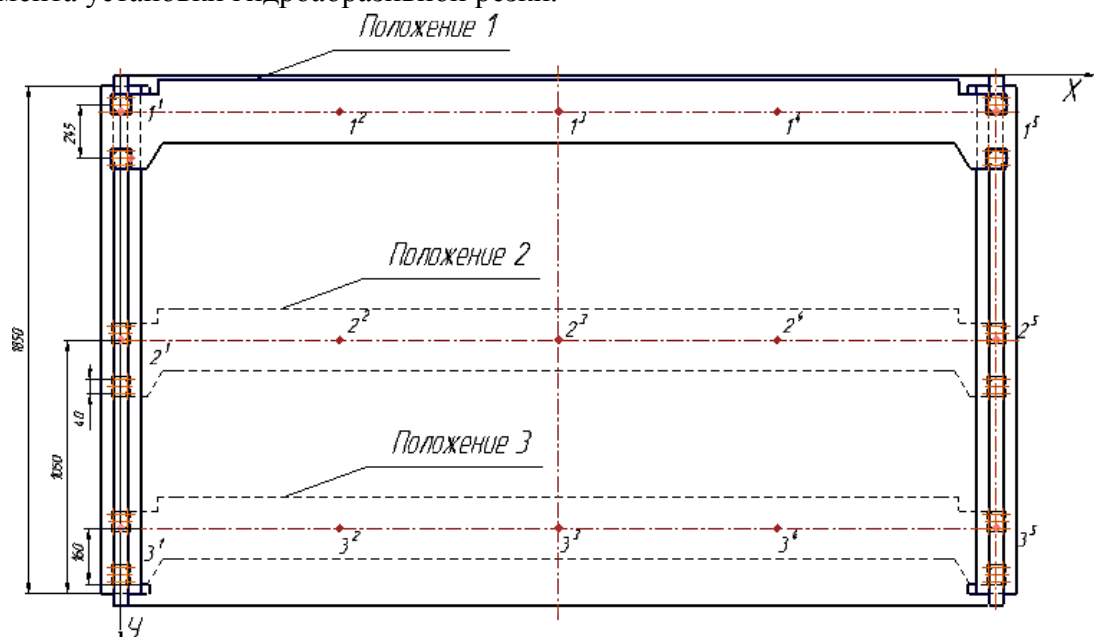




Рис.4. Системы координат платформы ГАР для составления схему установки средств измерения в трех положениях на плоскости XOY относительно оси Z.

Системы координат платформы ГАР состоит из пяти точек. При определении статической жесткости системы позиционирования инструмента установки гидроабразивной резки были определены жесткости  $X_z$  и  $Y_z$ . По полученным данным была составлена диаграмма статической жесткости устройства перемещения на плоскости XOY. В данной диаграмме можно проанализировать, что жесткость  $Y_z$  высокая по сравнению  $X_z$ . Жесткость устройства перемещения на оси Y (точки  $1^1, 2^1, 3^1$ ) в начале зоны меньше чем в конце зоны.

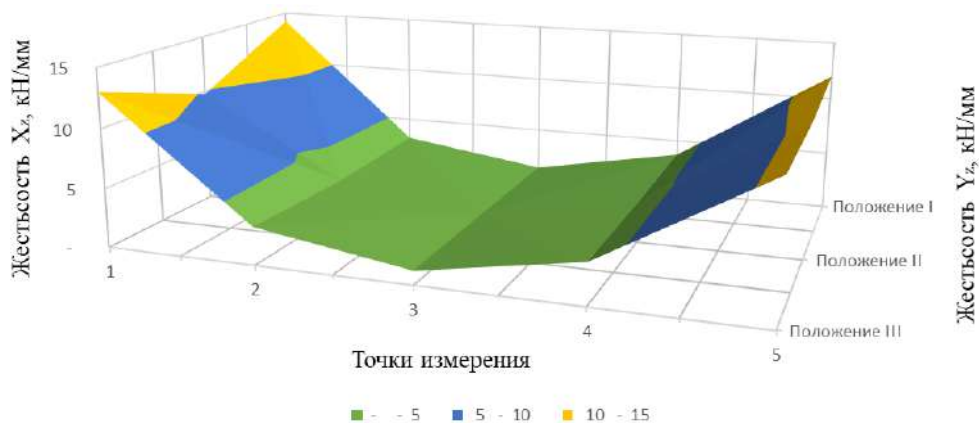


Рис.5 Диаграмма статической жесткости устройства перемещения на плоскости XOY относительно оси Z ( $X_z$  и  $Y_z$ ).

Также производился измерительный контроль статической жесткости системы перемещения режущей головки гидроабразивной установки на плоскости X0Z относительно оси Y ( $X_y$ ). По полученным результатам измерения был построен график статической жесткости  $X_y$ . Анализируя данный график можно отметить, что статическая жесткость  $X_y$  в середине системы перемещения режущей головки гидроабразивной не высокая.

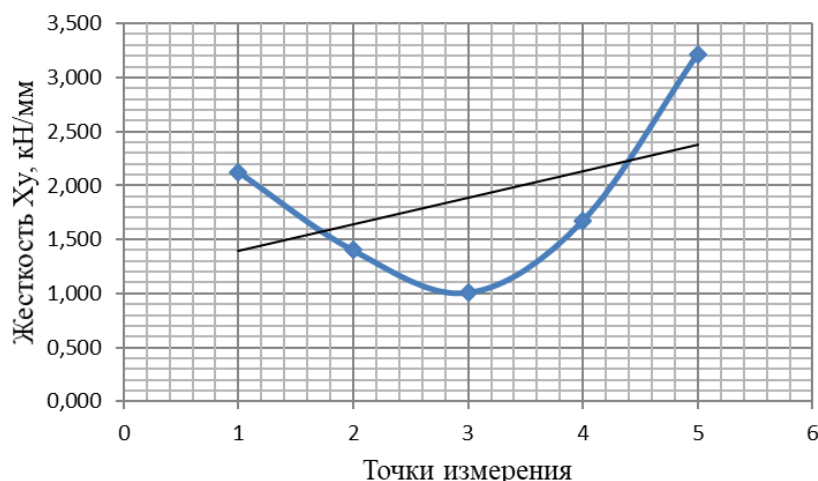


Рис.6 График статической жесткости устройства перемещения на плоскости X0Z относительно оси Y ( $X_y$ ).

Определения жесткости системы перемещения режущей головки гидроабразивной установки на плоскости X0Z относительно оси Y ( $Z_y$ ) и на плоскости Y0Z относительно оси X ( $Z_x$ )

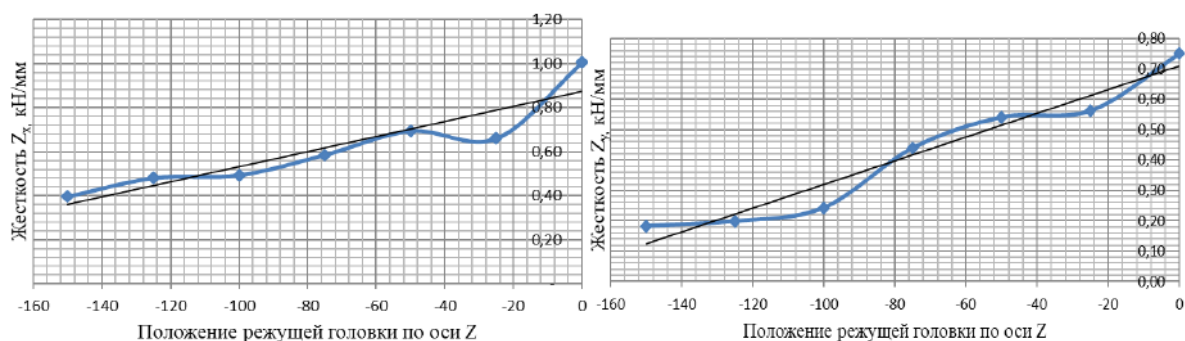


Рис.7 График статической жесткости устройства перемещения на плоскости  $YOZ$  относительно оси  $X (Z_x)$  и статической жесткости устройства перемещения на плоскости  $XOZ$  относительно оси  $Y (Z_y)$

Проанализировав зависимости изменения технологического и реального размера диаметров отверстия полученных при ГАР от угла измерения на входе струи можно отметить, что при увеличении скорости подачи струи уменьшается погрешности....

При ГАР необходимо учитывать многие факторы, влияющие на точность и качества поверхностей получаемого изделия. Фактическая точность поверхностей получаемого изделия не всегда и не в полном объеме соответствует установленным требованиям.

Возникающие погрешности при гидроабразивной обработке являются значимым фактором в формировании погрешностей последующей обработки изделия (технологическая наследственность).

Для повышения точности при ГАР необходимо повысить жесткость устройства перемещения. Так же разработать систему управления жесткости станка и оптимизировать режимы резания. Введение коррекции отклонения при ГАР на разных зонах резания значительно повышает точность изготовления и улучшает качество поверхности получаемого изделия.

Возникающие погрешности при ГАР имеют систематический характер. Погрешности носят систематический характер: на зонах, которые имеют более жесткую устройства перемещения незначительные отклонения, а на зонах более не жесткую устройства перемещения значительные отклонения. Характер погрешностей соответствует характеру деформаций устройства перемещения.

### Список литературы:

1. Е.Г. Коржов НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ «WATERJET-ТЕХНОЛОГИЯ».
2. Основы гидродинамической теории резания металлов (1940) М.М. Ламм.
3. Применение гидроабразивной резки при обработке сложнопровильных поверхностей деталей к.т.н. Моргунов Ю.А., Федотов А.А., Швычков Д.В. МГТУ «МАМИ».
4. Барсуков Г.В. Повышение эффективности гидроабразивного резания на основе дискретного регулирования состояний технологической системы. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Орел, 2006, 411с.
5. Тихомиров, Р.А. Резание струями жидкости высокого давления. Механическая обработка пластмасс Текст. / Р.А. Тихомиров, В.И. Николаев. -Л.: Машиностроение, 1975. 120 с.

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

6. Особенности обработки нержавеющей стали на токарных станках [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://stanokgid.ru/osnastka/tokarnaya-obrabotka-nerzhaveyushhej-stali.html> (Дата обращения: 28.03.2019г.).

## ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

*В.А. Овчаренко, студентка гр. 4НМ81*

*О.М. Утьев, к.т.н., ст.пр.*

*Томский политехнический университет*

*634050, Россия г. Томск, пр-т Ленина 30*

*E-mail: [vygornova@gmail.com](mailto:vygornova@gmail.com)*

При проектировании любого изделия одним из главных этапов является разработка конструкции предмета. Процессу конструирования сопутствует выбор технологии изготовления изделия, так как некоторые конструкторские решения требуют определенной технологии и наоборот, некоторые технологические решения влекут за собой определенный вид конструкции.

Помимо этого, необходимо соблюдать ряд других сопутствующих факторов. Так, немаловажным является себестоимость изделия, которая зависит от вида производства, а вид производства, в свою очередь, непосредственно влияет на выбор технологии.

В данной статье рассмотрен выбор технологии для единичного производства браслета по выбранному художественному решению [1].

Браслет имеет три повторяющихся сегмента, основой для каждого является каретка. Первый сегмент дополнительно включает в себя решетку и стекло, второй – рельеф, третий – стекло.

В данном разделе будут представлены несколько вариантов изготовления деталей.

### *Каретка*

Для начала рассмотрим технологию создания детали из листового материала [2]. Для того, чтобы сделать каретку данным способом, необходимо изготовить развертку из листового материала, затем произвести гибку для придания формы изделию, спаять либо склеить швы.

В имеющихся условиях практически нереально добиться идеального результата данным способом. Во-первых, для осуществления гибки необходимы специальные приспособления для исключения появления заломов на материале. Во-вторых, наличие швов также отрицательно сказывается на внешнем виде изделия.

Следующей технологией является обработка резанием на станке с ЧПУ. Качество поверхности при данном способе получения каретки будет максимально приближено к идеальному, но по другим показателям этот способ очень невыгодный. Например, временные затраты, большое количество стружки (нерациональное использование материала), электроэнергия.

Метод штамповки также может быть использован при создании деталей такого типа, но использование данной технологии целесообразно лишь при крупносерийном производстве.

Последним способом является получение каретки методом литья [3, 4]. Изготовление данным методом является самым оптимальным в условиях разового и мелкосерийного производства и не требует затрат на создание дорогостоящих штампов.

### *Решетка*

Рассмотрим технологию литья. Для изготовления решетки сначала необходимо сделать модель, а затем сделать пресс-форму. После получения пресс-формы изготавливается некоторое количество восковок, которые собирают в модельный блок. Затем формируют и прокалывают форму, заливают металл, срезают получившиеся отливки и производят механообработку. В данном случае технология литья себя не оправдывает. Во-первых, на литье затрачивается много времени. Во-вторых, из-за ажурности

поверхности высока вероятность недолива не только при получении металлического изделия, но и при изготовлении восковки.

Следующим методом получения решетки является ажурная резьба. Данная технология требует большого опыта и применения специализированного инструмента – лобзика.

Получение решетки методом лазерной резки является самым оптимальным. Во-первых, точность вырезания необходимого узора. Во-вторых, отсутствие деформации листа. В-третьих, высокое качество поверхности, требующее минимальной механообработки. Наконец, главное преимущество – минимальные временные затраты.

#### *Рельеф*

Для данного элемента с учетом эстетических требований подходит одна технология изготовления – чеканка, она обеспечит индивидуальный, неповторимый рельеф на поверхности металла [5].

Получение данного элемента происходит следующим образом: на лазерном станке с ЧПУ вырезается заготовка, с помощью чеканов и молотка выбивается рельеф.

Таким образом, все приведенные методы изготовления можем свести в таблицу.

Таблица

	
Составляющие	Технология
<p>Каретка</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литье.</li> <li>2. Штамповка.</li> <li>3. Резание на станке с ЧПУ из куска металла.</li> <li>4. Гибка листового материала.</li> </ol>
<p>Решетка</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Резание на лазерном станке.</li> <li>2. Ажурная резьба.</li> <li>3. Литье с использованием резиновых пресс-форм.</li> </ol>
<p>Рельеф</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чеканка</li> </ol>

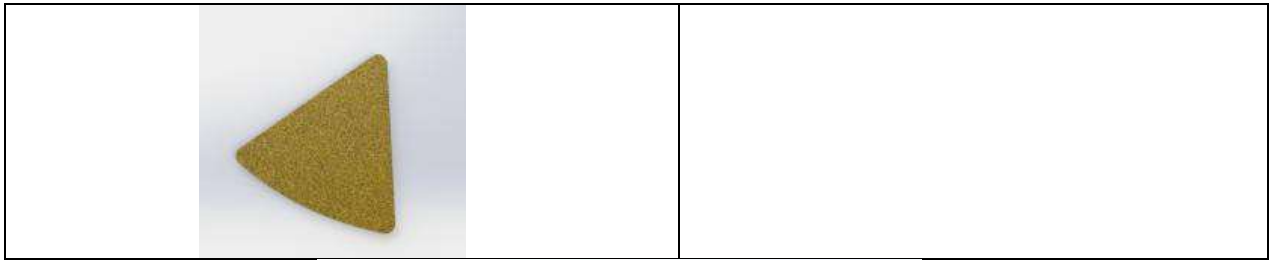


Рис. 1. Готовое изделие

В ходе данной работы был осуществлен подбор оптимальной технологии изготовления элементов браслета. Выбор технологии осуществлялся с опорой на масштабы производства, эскизные требования и имеющееся в наличии оборудование. Результатом данной работы является браслет, представленный на рис. 1, изготовленный с учетом выбранных технологий.

#### Список литературы:

1. Галанин С.И. Принципы создания современных ювелирных художественных изделий / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев // Труды академии технической эстетики и дизайна. – Томск. – 2013. - №1. – С. 5 – 10.
2. Овчаренко В.А., Утьев О.М. Методы изготовления двухслойных изделий // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2018. – № 2. – С. 7–9
3. Шпаркович, А. А. Изготовление декоративной фигуры методом литья по выплавляемым моделям [Электронный ресурс] / А. А. Шпаркович; науч. рук. О. М. Утьев // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апреля 2014 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2014. — С. 311-312.
4. Оболенская, Т. Н. Выбор технологии изготовления амулета по мотивам кулайской культуры [Электронный ресурс] / Т. Н. Оболенская; науч. рук. О. М. Утьев // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2013. — С. 337-338.
5. Бреполь Э. Теория и практика ювелирного дела. – Л.: Машиностроение 1982.-383с.



## ВЛИЯНИЕ ВИДА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Ц. Чжан, аспирант гр. А6-21,*

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,*

*Ш. Лю, магистрант гр. 8ЛМ71*

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

*тел.(3822)-606-389*

*E-mail: [965075948@qq.com](mailto:965075948@qq.com)*

Одним из методов повышения работоспособности режущих инструментов является нанесение износостойких покрытий. Исследования процесса резания инструментом с износостойкими покрытиями показывают, что выбор состава и конструкции покрытия должен проводиться исходя из условий, в которых работает режущий инструмент.

Применение сменных многогранных пластин (СМП) (сменных неперетачиваемых режущих пластин) позволило уменьшить себестоимость нанесения высококачественных покрытий в вакуумной камере и улучшить их качество. Для увеличения надёжности работы и долговечности покрытия применяются многослойными (рис. 1).

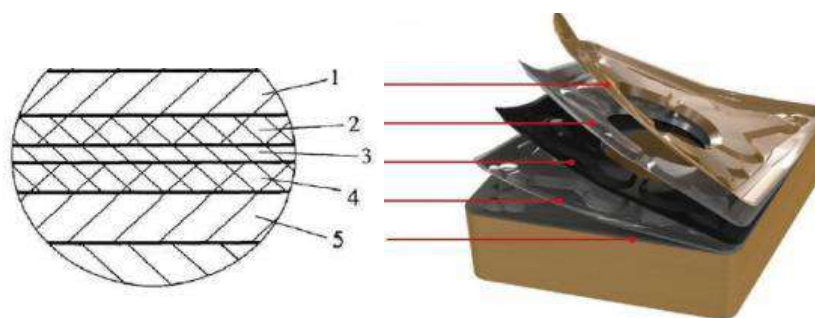


Рис. 1. Схема многослойного покрытия на режущей пластине:

1 – износостойкий слой; 2 – верхний промежуточный слой; 3 – барьерный слой;

Каждый слой такого композиционного покрытия имеет собственное функциональное назначение. Например, подложка 5 служит для более надёжного соединения верхнего слоя 4 с основным материалом режущей пластины, барьерный слой 3 служит для уменьшения теплопередачи от верхних слоёв к основному материалу, промежуточные слои 2 и 4 предназначены для надёжного сцепления с соседними слоями и предотвращения растрескивания самого важного износостойкого слоя 1.

Влияние скорости резания на стойкость СМП с тремя видами покрытия TiN, AlTiN, TiCN и без покрытия исследовалось при точении стали 40Х. В качестве критерия износа режущей пластины принималась фаска износа по задней поверхности с наибольшей предельно допустимой её длиной  $h_3 = 0,2$  мм, подача  $s = 0,13$  мм/об, глубина резания  $t = 1$  мм, скорость резания  $v = 360$  м/мин. При проведении испытаний было исследовано и изменение длины фаски износа на задней поверхности  $h_3$  в процессе резания.

При использовании СМП WNMG080404-ТМ с покрытием TiN при скорости резания  $v = 360$  м/мин износ  $h_3 = 0,3$  мм наступает через 17 мин, а при скорости резания  $v = 180$  м/мин такая же длина фаски износа появляется через 102 мин.



Характер изменения длины фаски в процессе испытаний зависит от скорости резания: при скорости резания 360 м/мин это прямолинейная зависимость от времени резания  $\tau$  (мин), а при скорости резания в два раза меньшей это более сложная зависимость.

При скорости резания 180 м/мин в течение 8 мин фаска износа  $h_3$  увеличивается до 0,06 мм, после чего интенсивность износа резко уменьшается, что связано, на наш взгляд, с завершением прирабочного износа. После 56 минут точения интенсивность износа резко увеличивается и становится почти такой же, что и во время приработки.

После достижения длины фаски износа  $h_3 = 0,3$  мм образующаяся стружка плохо ломалась, запутывалась вокруг заготовки и резца, а попав на кулачки токарного патрона, разлеталась в разные стороны, поэтому испытания пришлось прекращать из-за опасности получения травмы оператора и ухудшением условия наблюдения за процессом обработки. Поэтому предельно допустимая длина фаски износа у СМП ограничена  $h_3 = 0,2$  мм не увеличивающейся силой резания и связанной с ней упругой деформацией технологической системой, а ухудшением формы стружки, которая начинала запутываться вокруг заготовки и резца, разлетаться в разные стороны.

Результаты исследования влияния времени обработки на длину фаски износа  $h_3$  СМП с покрытиями TiCN и без него показали, что при использовании СМП без покрытия при скорости резания  $v = 300$  м/мин износ  $h_3 = 0,3$  мм наступает через 18 мин, а при использовании СМП с покрытием TiCN такой же износ наступает через 45 мин, что в 2,5 раза дольше.

Несмотря на то, что после появления фаски износа на задней поверхности на ней уже нет покрытия, всё равно остаётся защитное действие со стороны покрытия на передней поверхности, которое немного нависает над фаской и уменьшает контакт поверхности резания с уже незащищённой фаской. Этот защитный эффект более значим с учётом прогиба поверхности резания при обработке материалов, образующих сливную стружку [2].

При точении со скоростью резания  $v = 360$  м/мин наблюдается интенсивный локальный износ поверхности СМП, удалённой от рабочей вершины (рис. 2). Объясняется это трением стружки, закалённой после охлаждения на воздухе.

Для предотвращения такого вида износа и последующего разрушения СМП необходимо использовать пластины с такой формой передней поверхности, которая бы надёжно завивала стружку и не позволяла ей касаться поверхностей СМП.

Износ поверхностей резцедержателя при этом не наблюдался, что связано, на наш взгляд, с более существенным уменьшением температуры стружки после отдаления от зоны резания, а значит и меньшей степенью воздействия.

При скорости резания  $v = 180$  м/мин в зоне контакта главной режущей кромки СМП с необработанной поверхностью наблюдается интенсивный локальный износ (рис. 3), несмотря на то, что поверхность заготовки предварительно была обработана. Нами объясняется это существенным влиянием кислорода воздуха на химический износ при высокой температуре.



Рис. 2. Износ поверхности СМП от стружки

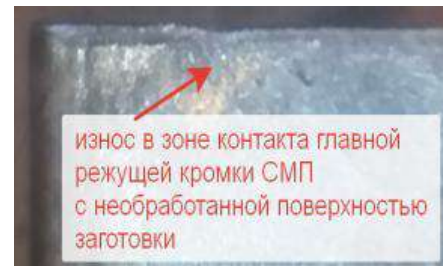


Рис. 3. Вид на заднюю поверхность СМП

Для построения стойкостных графиков  $T = f(v)$  была выбрана предельно допустимая длина фаски износа по задней поверхности  $h_{3\text{ пр}} = 0,2$  мм потому, что при скорости резания  $v = 180$  м/мин воздействие от увеличения «уса» затрудняло проведение дальнейших испытаний. Проведённые эксперименты показали, что наибольшую стойкость имеют СМП с покрытием TiCN (рис. 4).

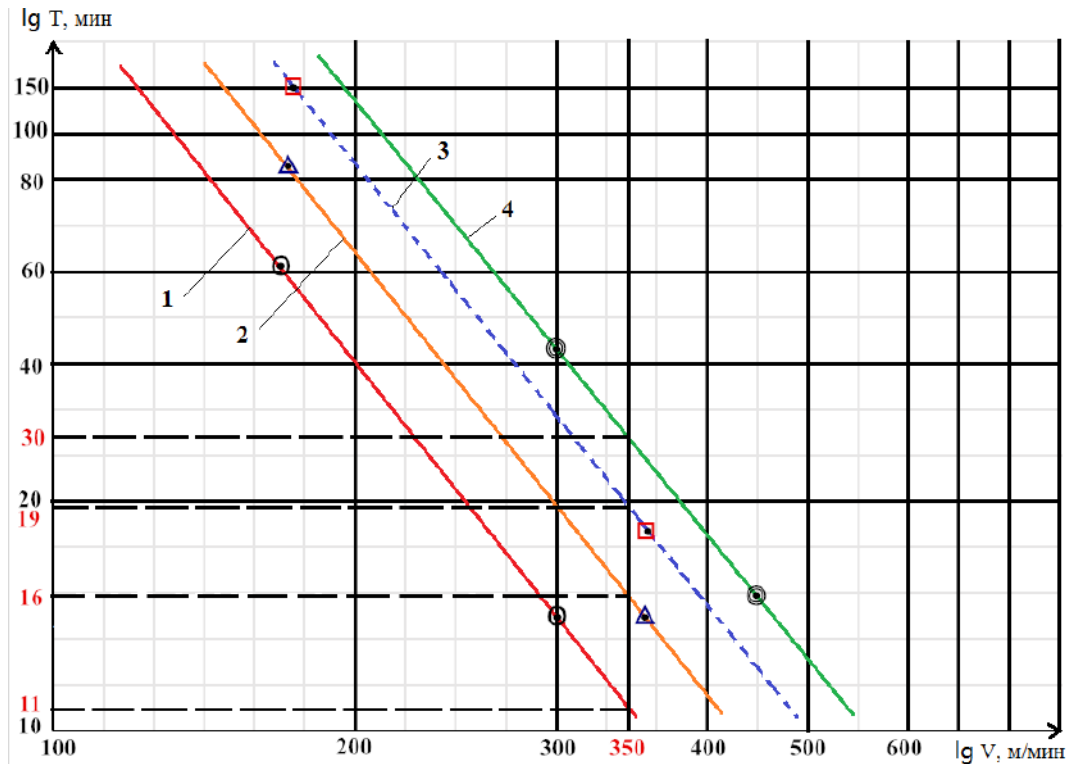


Рис. 4. Зависимость стойкости  $T$  (мин) СМП с износостойкими покрытиями от скорости резания  $V$  (м/мин) при обработке стали 40X и  $h_3 = 0,2$  мм:

1 - без покрытия, 2 - с покрытием TiN, 3 - с покрытием AlTiN, 4 - с покрытием TiCN

Потеря формы режущего клина может быть в результате износа клина на передней и задней поверхностях, а также из-за разрушения: хрупкого разрушения или пластической деформации. Для определения вероятности разрушения инструментального материала и покрытия были созданы 3-D модели режущей пластины с покрытием и без него. Внешние нагрузки задавались приложением контактных напряжений, полученных из ранее проведённых экспериментов [3, 4].

Напряжённо-деформированное состояние (НДС) режущего клина было исследовано методом конечных элементов с использованием программы ANSYS.

Анализ НДС показал, что пластина с покрытием имеет меньшие внутренние напряжения ( $\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 1126$  МПа) по сравнению с режущей пластиной без покрытия ( $\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 1367$  МПа), хотя в самом слое покрытия эквивалентные напряжения больше, чем в пластине без покрытия ( $\sigma_{\text{э наиб покр}} = 1821$  МПа против  $\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 1367$  МПа). Этот результат объясняется нами увеличенным модулем упругости Юнга у покрытия TiN. Малое количество дефектов в покрытии при его нанесении методом PVD и поэтому его повышенная прочность даже при его небольшой толщине позволяют выдерживать даже большие напряжения.

Для выявления экономической целесообразности использования СМП с покрытиями была рассчитана стоимость обработки одного погонного метра, исходя из одной и той же величины подачи  $s = 0,13$  мм/об, скорости резания  $v = 360$  м/мин и глубины резания  $t = 1$  мм. Применение СМП с покрытием TiCN имеет минимальную цену обработки 1 метра – 0,019 руб/м.

#### **Список литературы:**

1. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента [Текст] / С. Н. Григорьев, В. П. Табаков, М. А. Волосова. - Старый Оскол : ТНТ, 2011. - 379 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-94178-251-2 (в пер.)
2. Kozlov V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear. // The 7<sup>th</sup> International Forum on Strategic Technology (IFOST 2012) “Innovative technology and advanced engineering”, IFOST conference, September 17-21.2012, pp. 147-151.
3. Козлов В.Н., Чжан Ц., Го И., Сабават С.К. Исследование контактных нагрузок при врезании // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Н. Яковлева. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — с. 315-316.
4. Artamonov E. V., Chernyshov M. O., Pomigalova T. E. Improving the Performance of Composite Bits with Replaceable Inserts // Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 4, pp. 348-350.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН С БОЛЬШИМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ

*Ц. Чжан, аспирант гр. А6-21,*

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,*

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

*тел.(3822)-606-389*

E-mail: [965075948@qq.com](mailto:965075948@qq.com)

Одними из главных характеристик алюминиевых сплавов являются легкость материала, высокая тепло- и электропроводность, а также коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость резанием, высокая технологическая пластичность и большой диапазон разновидности физических, механических, антифрикционных и других свойств. Поэтому по применяемости алюминиевые сплавы в настоящее время являются одними из самых распространенных материалов после стали.

Основными проблемами при обработке алюминия и алюминиевых сплавов являются образование нароста или налива и приваривание стружки к передней поверхности режущего инструмента при высокой скорости резания, т.е. при повышенной температуре резания.

При обработке алюминия и его сплавов следует выбирать фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП), которые имеют острую режущую кромку и большой передний угол  $\gamma$ . Наличие чрезмерно большого переднего угла может привести к выкрашиванию режущей кромки или даже сколу СМП, поэтому необходим расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина. Длина контакта алюминиевой стружки с передней поверхности большая, поэтому, чтобы не создавать препятствия её проходу и предотвращать образование стружечного комка, часто применяется глубокая стружкозавивающая канавка. Для повышения прочности СМП в СМП АОКХ 180604 FR-F используется канавка с углом спирали около  $30^\circ$  (рис. 1 б).



Рис. 1. Торцевая насадная фреза № 217 с СМП для обработки алюминиевых сплавов (а); сменная многогранная пластина АОКХ 180604 FR-F, устанавливаемая на торцовую фрезу № 217 (б)

Скорость резания неоднозначно влияет на шероховатость обработанной поверхности [1, 2] (рис. 2).

В первом диапазоне скорости резания качество поверхности плохое из-за наростообразования и схватывания (приваривания) прирезцовой поверхности стружки с передней поверхностью режущего инструмента. Нарост периодически разрушается, после чего его части вдавливаются в обработанную поверхность, существенно ухудшая качество обработанной поверхности.

С увеличением скорости резания температура резания увеличивается, поэтому материал нароста размягчается и величина нароста уменьшается, что приводит к уменьшению шероховатости.

Во втором диапазоне шероховатость обработанной поверхности небольшая и она линейно снижается при увеличении скорости резания.

В третьем диапазоне шероховатость обработанной поверхности может увеличиться вследствие увеличения частоты вращения фрезы (или заготовки при токарной обработке), необходимой для увеличения скорости резания. Это часто приводит к появлению вибрации, существенно усиливающейся при совпадении частоты вынужденных колебаний с собственной частотой системы станок - приспособление - инструмент - деталь (СПИД).

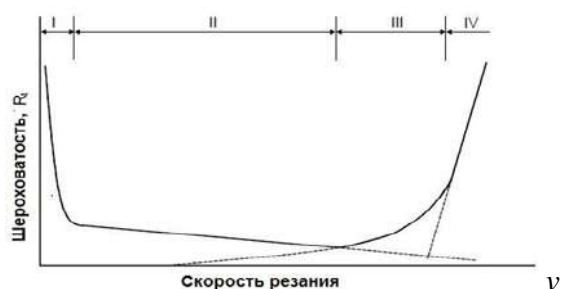


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от скорости резания при обработке чистого алюминия

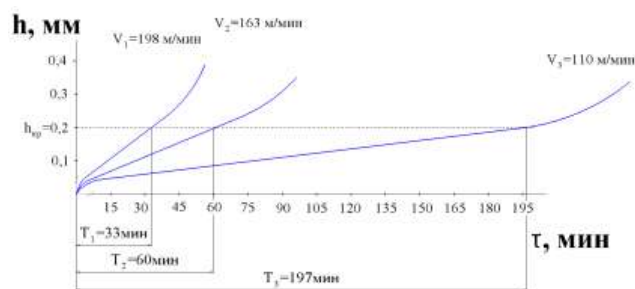


Рис. 3. Влияние времени резания  $\tau$  (мин) на длину фаски задней поверхности  $h_3$  (мм) при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16

В четвёртом диапазоне из-за увеличения температуры резания снимаемая стружка моментально приваривается к режущей кромке и к передней поверхности инструмента, что приводит не только к резкому увеличению шероховатости (порой приходится прекращать обработку), но и к поломке инструмента. Применение специальной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) позволяет уменьшить это явление, но при большой скорости резания ухудшается проникновение СОЖ в зону резания.

При проведении стойкостных испытаний СМП при резании алюминиевых сплавов мы приняли предельно допустимую длину фаски износа по задней поверхности  $h_{3\text{кр}}$  равной 0,2 мм, т.к. при большей длине фаски начинают образовываться задиры на обработанной поверхности.

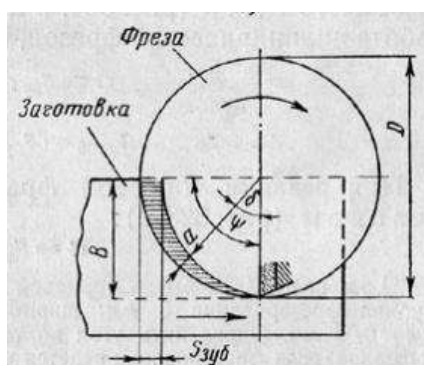


Рис. 4. Изменение толщины

При определении стойкости были получены графики изменения длины фаски износа по задней поверхности  $h_3$  (мм) от времени резания  $\tau$  (мин) при различных скоростях резания алюминиевого деформируемого сплава Д16 (рис. 3). При скорости резания  $v = 110$  м/мин через 197 минут длина фаски износа по задней поверхности достигла  $h_{3\text{кр}} = 0,2$  мм. При  $v = 198$  м/мин предельно допустимый износ наступил уже через 33 минуты.

При оценке надёжности работы фрезы необходимо учитывать не только интенсивность её износа, но и её прочность. При этом надо учитывать изменение толщины среза в процессе поворота зуба фрезы (СМП) (рис. 4).

При обработке концевой фрезой наибольшая

толщина среза  $a_{\text{наиб}}$  рассчитывается по такой же формуле, как и при цилиндрическом фрезеровании

$$a_{\text{наиб}} = s_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} \approx s_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \quad (\text{мм}),$$

где  $s_z$  – подача на зуб (мм/зуб);  $t$  – глубина резания (мм), измеряемая перпендикулярно оси вращения фрезы;  $D$  – диаметр фрезы (мм).

Наши исследования показали, что наибольшую опасность для хрупкого разрушения представляет период врезания зуба фрезы, т.к. при этом наблюдаются значительное увеличение силы резания по сравнению с установившемся резанием [3, 4].

При большом соотношении  $t/D$  на выходе зуба из контакта с заготовкой силы резания могут быть даже больше, чем при врезании из-за большой величины толщины среза  $a$ . В этом случае необходимо определять НДС зуба фрезы при выходе его из контакта.

В наших исследованиях толщина среза на выходе зуба фрезы была равна 0,283 мм, а составляющие силы резания не превышали тех, что наблюдались при врезании. Поэтому расчёт НДС СМП был выполнен для врезания.

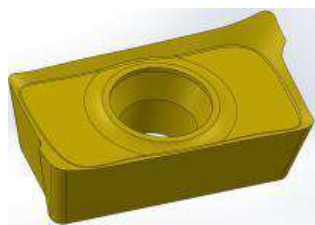


Рис. 5. Модель СМП  
АОКХ 180604 FR-F

В ООО «ПК МИОН», г. Томск, изготавливается торцовая фреза № 217, которая используется для установки СМП SDCT 090308A1 с углом в плане  $\varphi = 90^\circ$ , предназначенной для обработки алюминиевых сплавов. Для расчёта напряженно-деформированного состояния этой СМП методом конечных элементов (МКЭ) была построена модель СМП фрезы (рис. 5).

К этой модели были приложены внешние нагрузки в виде контактных напряжений, величина и распределение которых были изучены ранее [3, 4]. Исходными данными для расчёта контактных напряжений были составляющие силы резания, измеренные с использованием динамометра Kistler. Шероховатость поверхности, полученная после фрезерования, измерялась с помощью портативного профилометра.

Для оценки прочности СМП при обработке алюминиевого сплава Д16 было задано распределение контактных нагрузок на поверхностях СМП, величина и распределение которых были изучены ранее [1]. При этом принималось, что наибольшие внешние контактные напряжения действуют в период врезания зуба фрезы.

НДС СМП было рассчитано с использованием программного обеспечения ANSYS. Расчёты были выполнены для СМП с передним углом  $\gamma$ , равным  $15^\circ$  и  $30^\circ$  при скоростях резания  $v$  от 100 до 500 м/мин (рис. 6).

Для оценки прочности лучше использовать эквивалентное напряжение [5], которое необходимо сравнивать с пределом прочности инструментального материала на сжатие или растяжение в зависимости от знака нормального напряжения в рассматриваемой области. Для твёрдого сплава ТТ20К9, из которого сделаны СМП, предел прочности на изгиб 1500 МПа, поэтому недопустимо его превышать.

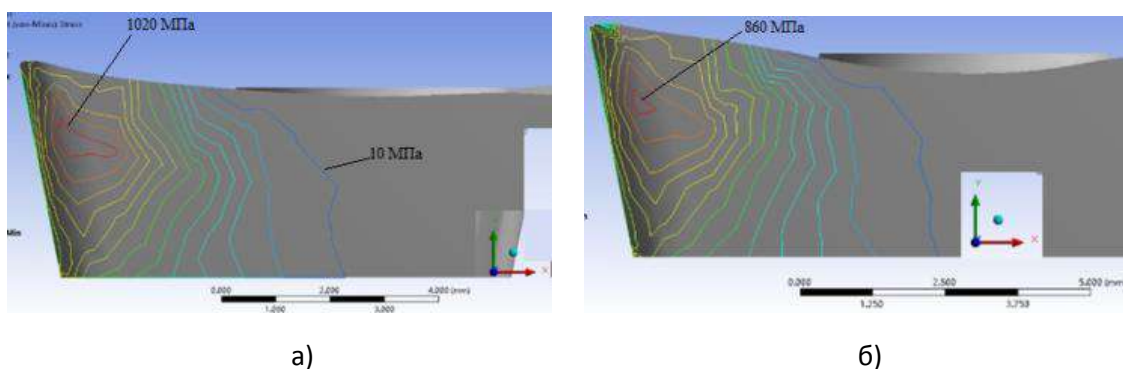


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_3$  (МПа) в СМП с передним углом  $30^\circ$  (а) и  $15^\circ$  (б) при скорости резания 510 и 510 м/мин, ТТ20К9



Эксперименты показывают, что чем больше передний угол, тем лучше удаление стружки, что позволяет обрабатывать алюминиевый сплав с высокой скоростью. Силы резания уменьшаются, но также значительно уменьшается поперечное сечение режущего клина. При переднем угле  $\gamma = 30^\circ$  при скорости резания 500 м/мин наибольшие эквивалентные напряжения у режущей кромки увеличиваются до 1880 МПа, что может привести к выкрашиванию режущей кромки и даже поломке инструмента.

#### Список литературы:

1. Зайцев В.Е., Скрипка Е.А., Гнатенко О.В. Исследование влияния основных параметров резания на величину шероховатости поверхности Ra при торцевом фрезеровании алюминиевого сплава 6082 Т6, *Авиационно-космическая техника и технология: науч.-техн. журн. / Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”*. – Харьков: [б. и.], (1993).
2. Ковалевский А.В. Выбор рациональных режимов для фрезерования для обработки алюминиевых сплавов/ А. В. Ковалевский // *Омский научный вестник* – 2008. - №4 – С 64-66.
3. Козлов В.Н., Чжан Ц., Го И., Сабават С.К. Исследование контактных нагрузок при врезании // *Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27-29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – с. 315-316.
4. Kozlov Victor, Zhang Jiayu, Cui Jian, Bogolyubova Maria. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter // *Key Engineering Materials: Scientific Journal*. – 2017. – Vol. 743: High Technology: Research and Applications (HTRA 2016). – p. 258-263.
5. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2017. – № 8, ч. 2. – с. 88-94.



## ОСОБЕННОСТЬ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ ПРИ ВРЕЗАНИИ

Ц. Чжан, аспирант гр. А6-21,

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,

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

тел.(3822)-606-389

E-mail: [965075948@qq.com](mailto:965075948@qq.com)

При оценке прочности инструмента требуется знание величины и характера распределения контактных нагрузок на поверхностях инструмента с учётом его износа. Износ инструмента может проявляться на следующих поверхностях режущего инструмента (рис. 1):

- 1) на передней поверхности с образованием лунки износа глубиной  $h_d$  и длиной  $c_d$ ;
- 2) на режущей кромке инструмента с образованием округления радиусом  $\rho$ ;
- 3) на задней поверхности с образованием фаски износа длиной  $h_z$ ,  $h_{zi}$  и с задним углом на фаске износа  $\alpha_h$ , который при большом износе может иметь даже отрицательный знак.

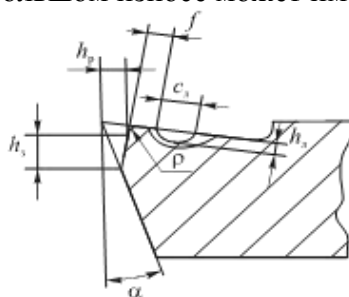


Рис. 1. Зоны износа режущего клина

Наиболее интенсивно режущие инструменты изнашиваются по задней поверхности, при этом существенно увеличиваются составляющие силы резания: тангенциальная  $P_z$ , радиальная  $P_y$  и осевая  $P_x$ . Для экспериментального исследования их изменения была использована измерительная система с динамометром Kistler модели 9257В, которая позволяет не только измерить величину сил резания, но и получить графики их изменения.

При измерении составляющих силы резания обычным трёхкомпонентным динамометром при фрезеровании будут зафиксированы изменения технологических составляющих силы резания:  $P_{hd}$  (действующей в горизонтальной плоскости против направления вектора подачи  $s_{мин}$ ),  $P_{vd}$  (действующей в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению подачи  $s_{мин}$ ),  $P_{xd}$  (действующей вниз вдоль оси вращения фрезы, т.е. в вертикальной плоскости перпендикулярно направлению подачи  $s_{мин}$ ).

На зуб фрезы будут действовать соответствующие составляющие силы резания, равные по абсолютной величине, но имеющие противоположные направления:  $P_h$ ,  $P_v$ ,  $P_x$  (рис. 2).



Рис. 2. Направление составляющих силы резания при несимметричном встречном фрезеровании торцовой фрезой. а) – вид сбоку; б) – вид сверху

Для расчёта НДС зуба фрезы желательно знать физические составляющие: нормальную  $N$  и касательную  $F$  к передней поверхности зуба. Для этого необходимо выделить технологические составляющие  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , действующих в системе координат, поворачивающихся относительно оси вращения фрезы вместе с её зубом (рис. 2). На рис. 2 б символом  $a'_i$  обозначена толщина среза  $a_i$  на виде сверху.

При фрезеровании зуб фрезы поворачивается, поэтому для выделения составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  была использована фреза небольшого диаметра с углом наклона главной режущей кромки  $\varphi = 45^\circ$ , а ширина фрезерования  $b$  была равна половине диаметра фрезы. Поэтому во время врезания зуба фрезы динамометр показывает по одному из каналов составляющую силы резания  $P_z$ , совпадающую с  $P_h$ , а через четверть оборота перед выходом зуба из контакта с заготовкой по этому же каналу  $P_h$  будет показана  $P_y$ .

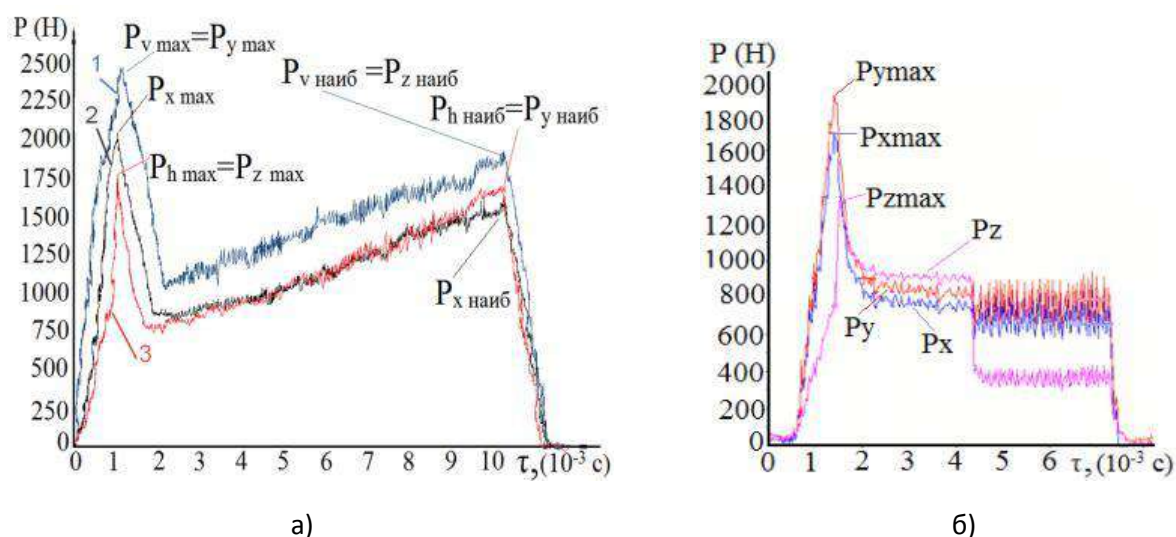


Рис. 3. Изменение составляющих силы резания при обработке стали 40Х. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки  $\tau$  (с). а) – при торцовом фрезеровании фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки  $\varphi = 45^\circ$ , 1 –  $P_v$ , 2 –  $P_x$ , 3 –  $P_h$  (Н); б) – при точении резцом с углом в плане  $\varphi = 45^\circ$  с врезанием в коническую поверхность, оставшуюся после предыдущей обработки резцом с этим же

По другому каналу соответственно будет сначала показываться составляющая силы резания  $P_y$ , совпадающую с  $P_v$ , а через четверть оборота по этому же каналу  $P_v$  будет показана  $P_z$  перед выходом зуба из контакта с заготовкой. Составляющая  $P_x$  будет действовать всё время вертикально и постоянно будет показываться по третьему каналу (каналу  $P_x$ ).

При черновом фрезеровании чаще всего применяется встречное фрезерование, при котором в начальный момент контакта зуба фрезы с поверхностью заготовки, оставшейся от резания предыдущим зубом, толщина среза равна нулю ( $a_{i \text{ нач}} = 0$  мм). При дальнейшем повороте зуба фрезы толщина среза  $a_i$  постепенно увеличивается до  $a_{i \text{ наиб}}$  на конечном этапе контакта зуба с заготовкой, а затем быстро уменьшается до нуля при выходе зуба из контакта. В начальный момент контакта зуба фрезы с заготовкой стружка не образуется, и материал заготовки подминается под режущую кромку зуба. В этот момент составляющие силы резания сначала быстро увеличиваются, а затем, после начала образования стружки, быстро уменьшаются (рис. 3 а, левая часть графиков).

Толщина среза  $a_i$  (мм) рассчитывается по формуле  $a_i = s_z \cdot \sin \psi$ , где  $\psi$  – центральный угол, образованный радиусами, проведенными из центра оси вращения фрезы к точкам входа и текущим положением её исследуемого зуба,  $s_z$  – подача на зуб (мм/зуб). В результате увеличения толщины среза  $a_i$  составляющие силы резания увеличиваются до момента, пока зуб фрезы не выйдет из контакта с заготовкой. После этого они резко уменьшаются до нуля (рис. 3 а).

Из-за короткого времени фрезерования (обычно зуб находится в контакте с заготовкой в течение нескольких миллисекунд) и поворота зуба фрезы погрешность измерения составляющих  $P_z$  и  $P_y$  силы резания может быть большой.

Для проверки характера изменения сил было выполнено моделирование врезания зуба торцевой фрезы с углом  $\alpha = 45^\circ$  (рис. 2 а) на токарном станке путём врезания токарного резца с главным углом в плане  $\phi = 45^\circ$  в коническую поверхность заготовки, оставшуюся после предыдущей обработки резцом с этим же углом в плане (рис. 4). В этом случае главная режущая кромка токарного резца начинает касаться конической поверхности заготовки сразу по всей длине  $b$ , имитируя врезание зуба фрезы.

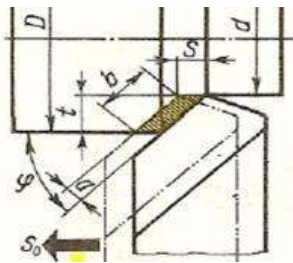


Рис. 4. Моделирование врезания зуба торцевой фрезы с  $\phi = 45^\circ$  на токарном станке резцом с  $\phi = 45^\circ$

При врезании токарного резца составляющие силы резания сначала быстро увеличиваются, а затем, после начала образования стружки, быстро уменьшаются до величины, характерной для установившегося резания (рис. 3 б, середина графиков).

В наших экспериментах после выхода на установившееся резание продольная механическая подача отключалась, но резец от заготовки некоторое время не отводился, и производилась запись изменения сил резания в процессе контакта резца с заготовкой по главной режущей кромке или по искусственной фаске на задней поверхности с задним углом  $\alpha_h = 0^\circ$ , моделирующей износ. Обращает на себя внимание тот факт, что величина составляющих сил резания  $P_y$  и  $P_x$  в процессе такого трения приблизительно равны этим составляющим, действующим при установившемся резании (рис. 3 б, правая часть графиков).

Характер изменения сил резания можно получить также с помощью компьютерного программного обеспечения. С помощью программы Deform, можем исследовать изменение составляющих сил резания при фрезеровании. Сравнение экспериментально полученных графиков (рис. 3 а) и полученных при моделировании с использованием программы Deform (рис. 5) показывает, что изменение составляющих силы резания описывается схожим образом.

При компьютерном моделировании также, как и при реальном фрезеровании, при врезании происходит сначала увеличение составляющих силы резания, которые быстро уменьшаются после образования стружки. Величина сил при моделировании отличается от экспериментальных почти в 2 раза, что связано, на наш взгляд, с несовершенством программного обеспечения Deform.

При повороте зуба фрезы происходит незначительное увеличение сил (рис. 5), после чего средние величины сил остаются практически неизменными длительное время, а затем они уменьшаются до нуля. Отсутствие существенного увеличения сил при повороте зуба фрезы связано, на наш взгляд, с несовершенством программного обеспечения Deform.

При исследовании прочности режущей пластины фрезы необходимо рассчитать её напряжённо-деформированное состояние (НДС) при нагружении её составляющими  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  силы резания. При увеличении подачи составляющие силы резания возрастают и повышаются эквивалентные напряжения в режущем клине. Поэтому нам нужно определить

подачу на зуб  $s_z$  (мм/зуб) при заданной ширине фрезерования  $b$  (мм) и глубине резания  $t$  (мм), при которой максимальное эквивалентное напряжение в режущем клине не будет превышать предельно допустимого напряжения на изгиб, сжатие или растяжение для используемого материала пластины.

Для моделирования износа на пластине затачивалась фаска на задней поверхности с задним углом  $\alpha_h=0$ . Длина этой фаски при её первоначальной заточки составляла  $h_f=2$  мм. После экспериментов с разной подачей  $s$  (мм/об) и скоростью резания  $v$  (м/мин) резец снимался со станка и затачивался по задней поверхности с прежним углом  $\alpha=10^\circ$  до тех пор, пока длина фаски на задней поверхности не принимала необходимую величину. После этого резание продолжалось с прежним режимом резания. Переточка только по главной задней поверхности позволяла оставлять неизменный угол на фаске задней поверхности  $\alpha_h=0^\circ$ , характерный при длине фаски износа по задней поверхности менее 1,8 мм [1, 2].

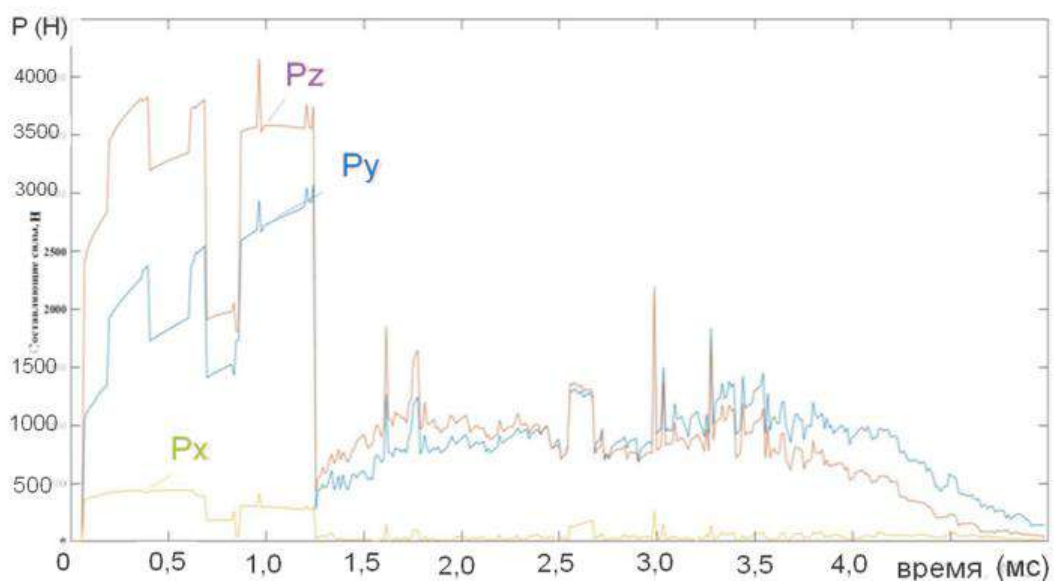


Рис. 5. Изменение составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (Н) во время резания  $\tau$  (миллисекунд) одним зубом при моделировании встречного фрезерования торцевой фрезой с использованием программы Deform. 40X – T15K6; подача на зуб  $s_z=0,15$  мм/зуб; скорость резания  $v=120$  м/мин

Нормальные и касательные контактные напряжения на передней поверхности и на искусственной фаске износа задней поверхности при установившемся резании и врезании определялись в соответствии с ранее выполненными исследованиями в этой области [1, 2, 3].

Анализ НДС методом конечных элементов с использованием программы ANSYS показал, что при обработке стали 40X режущая пластина, используемая в качестве зуба фрезы, при длине фаски по задней поверхности  $h_z=0,13$  мм и наибольшей толщине среза  $a_{\text{наиб}}=0,13$  мм, т.е. при выходе из контакта с заготовкой, имеет наибольшее эквивалентное внутренние напряжения  $\sigma_{\text{э наиб}}=200$  МПа, в то время как при врезании  $\sigma_{\text{э наиб}}=1367$  МПа. При толщине среза  $a_{\text{наиб}}=0,5$  мм на выходе зуба из контакта с заготовкой  $\sigma_{\text{э наиб}}=600$  МПа, в то время как при врезании  $\sigma_{\text{э наиб}}=6000$  МПа. Это говорит о том, что в наших условиях фрезерования при врезании зуб фрезы испытывает гораздо большие нагрузки, чем при выходе из контакта.

#### Список литературы:

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

1. Zhang J., Kozlov V. N., Guo Y., Sabavath S. K. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 39-45].
2. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
3. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2017. — № 8, ч. 2. — с. 88-94.

## АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОСТОЯННОЙ РАДИАЛЬНОЙ СИЛОЙ $P_r$

Ю.Б. Червач, к.т.н., доц.,  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел. (3822)-606-389  
E-mail: [chervach@tpu.ru](mailto:chervach@tpu.ru)

Одной из причин ограниченного использования процесса алмазного выглаживания для упрочнения поверхностей деталей современного машиностроительного производства является сложность экспериментального подбора основных режимов обработки: радиальной составляющей силы выглаживания  $P_r$  и радиуса алмазного индентора  $R_{сф}$ , существенно влияющих на площадь контакта обрабатываемой поверхности с индентором и величину давления между ними. Если выбранный радиус  $R_{сф}$  алмазного индентора не меняется при обработке поверхности, то незначительное отклонение величины  $P_r$  приводит к неоптимальной величине упрочнения или, что существенно хуже, к разупрочнению поверхностного слоя.

Следует отметить, что оправки, используемые в промышленности в настоящее время не стабилизируют силу  $P_r$  при обработке с радиальным биением и обработке фасонных поверхностей.

При выглаживании оправкой, представленной на рис. 1, силовым элементом которой является плоская пружина, с появлением радиального биения сила  $P_r$  будет изменяться в зависимости от величины биения и жёсткости пружины и носит явно выраженный синусоидальный характер (рис. 2).



Рис. 1. Динамометрическая оправка с симметричной плоской пружиной для алмазного выглаживания (силовой элемент – плоская пружина)

В промышленности широко используются оправки с винтовой пружиной [1], но характер изменения силы  $P_r$  при радиальном биении значительно отличается от указанной выше кривой: зависимость приведена на рис. 3.

Явно выраженный пилообразный характер зависимости  $P_r=f(T)$  обусловлен, скорее всего, схватыванием (механическим зависанием) прецизионной плунжерной возвратно-поступательной пары в условиях сухого трения. Величина  $\Delta P_r$  обусловлена не только жесткостью винтовой пружины  $k$  при изменении длины пружины на величину



радиального биения  $\Delta r = r_{\max} - r_{\min}$ , но и условиями движения индентора по поверхности детали и, соответственно, микроперемещения плунжера относительно корпуса оправки (фазы движений индентора по обрабатываемой поверхности с наибольшим радиусом – от точки а к точке b и наименьшим радиусом – от точки с к точке d) (рис. 4).

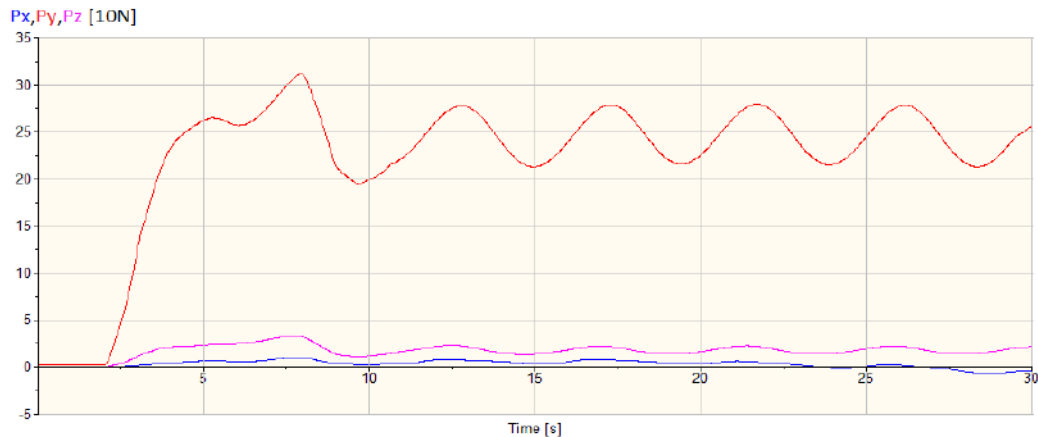


Рис. 2. Зависимость составляющих усилия выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [Н] от времени  $T$  [с] при выглаживании динамометрической оправкой с плоской пружиной.  $\Delta P_y \approx 67$  Н. Радиальное биение 0,1 мм. Режимы выглаживания: радиус индентора  $R_{сф} = 2$  мм; подача  $S = 0,05$  мм/об.; скорость выглаживания  $v \approx 0,02$  м/с; угловая скорость  $\omega = 1,3$  с<sup>-1</sup>.

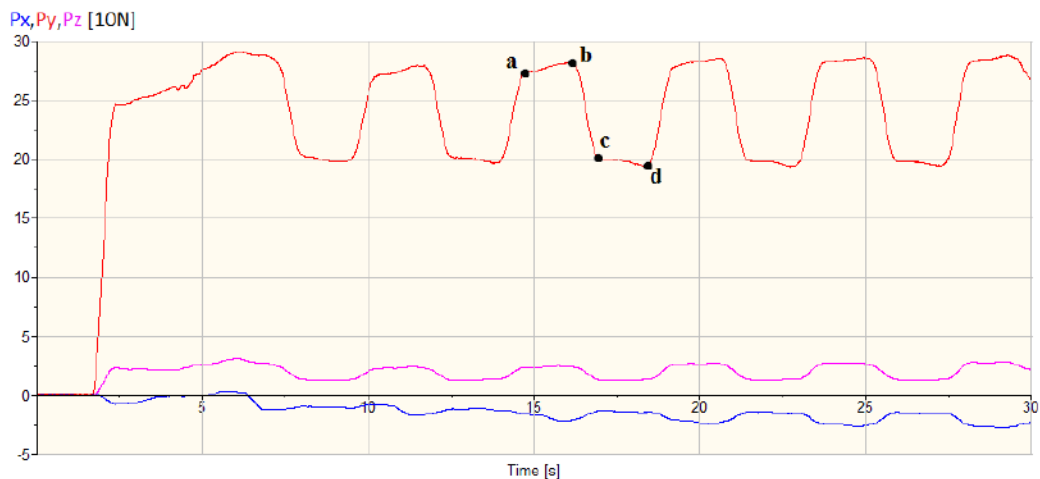


Рис. 3. Зависимость составляющих усилия выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [Н] от времени  $T$  [с] при выглаживании оправкой с винтовой пружиной.  $\Delta P_y \approx 88$  Н. Радиальное биение 0,1 мм. Режимы выглаживания: радиус индентора  $R_{сф} = 2$  мм; подача  $S = 0,05$  мм/об.; скорость выглаживания  $v \approx 0,02$  м/с; угловая скорость  $\omega = 1,3$  с<sup>-1</sup>.

Если из процесса выглаживания пружинной оправкой исключить схватывание возвратно-поступательной пары, то зависимость  $P_y = f(T)$ , показанная на рис. 3 приобрела бы вид кривой, полученной при выглаживании оправкой с плоской пружиной. В этих случаях характер изменения силы  $P_y$  был бы практически одинаков и зависел только от упругих деформаций изгиба материала плоской пружины (рис. 2) или от упругих деформаций кручения винтовой пружины. Разница в виде зависимостей, изображенных на



рис. 2 и 3, обусловлена только процессом схватывания плунжерной пары при микроперемещениях в зонах с очень малым изменением радиуса  $r$ . Колебание силы выглаживания составило  $P_y=88$  Н.

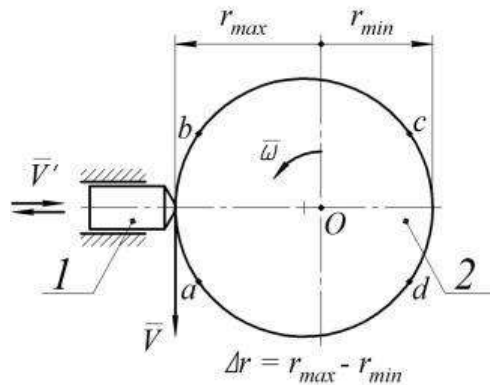


Рис. 4. Схема движения индентора по поверхности с радиальным биением:  
1- индентор, установленный в плунжере возвратно-поступательной прецизионной пары;  
2 – обрабатываемая поверхность ( $V$  – скорость выглаживания, м/с;  $V'$  – скорость перемещения индентора с плунжером относительно корпуса оправки;  
 $\omega$  – угловая скорость детали, 1/с)

Анализ результатов выглаживания поверхностей деталей с радиальным биением до  $0,01...0,02$  мм оправкой с винтовой пружиной показал, что колебание силы выглаживания  $\Delta P_y$  также вызваны, в значительной мере, зависанием плунжерной возвратно-поступательной пары. Отсюда можно сделать вывод, что использование пружинных оправок с возвратно-поступательными парами трения для гладкого и фасонного выглаживания поверхностей деталей приведёт к процессу обработки с переменной силой  $P_y$ , и неоднородному процессу упрочнения поверхностного слоя.

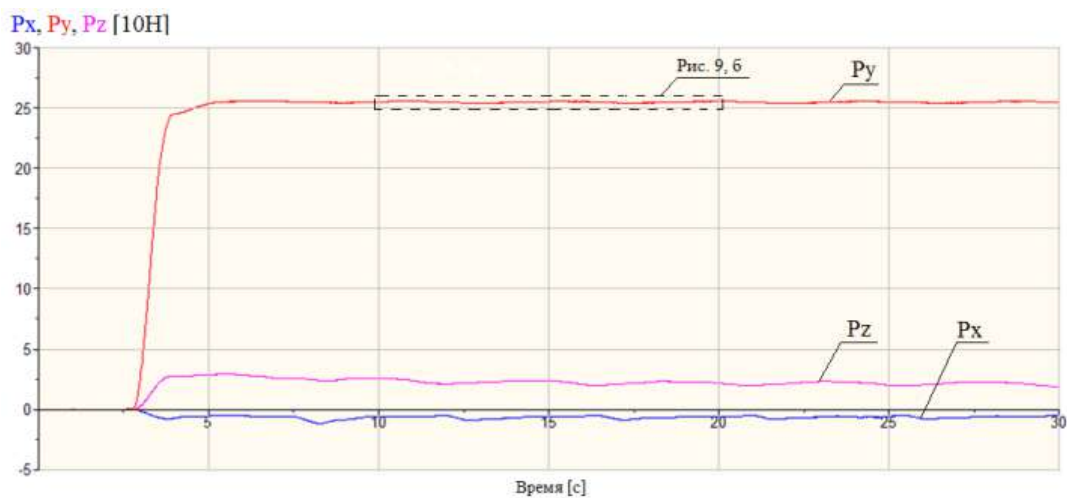


Рис. 5. Оправка для выглаживания пневматическая с ресивером (силовой элемент – сильфон со сжатым воздухом) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках

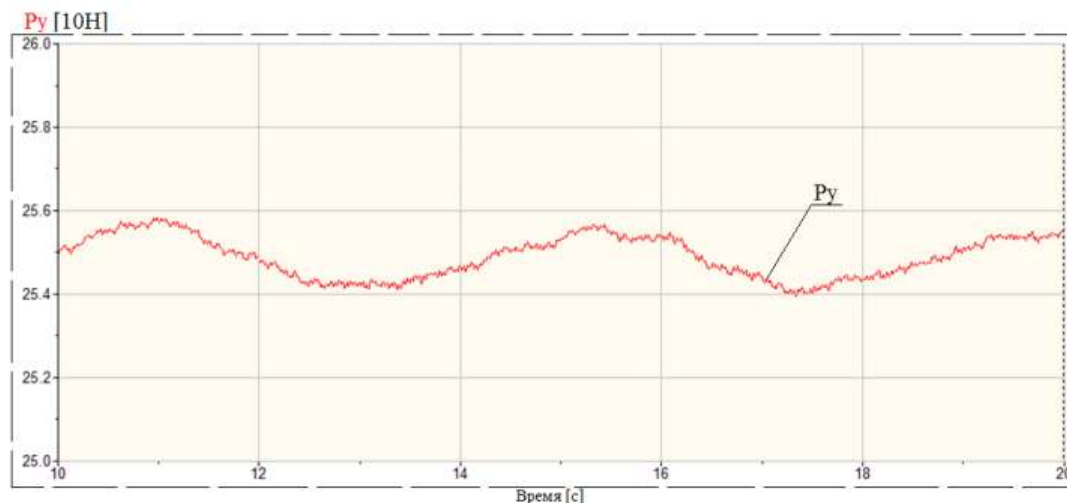
Для стабилизации силы выглаживания  $P_y$  в процессе обработки фасонных поверхностей и поверхностей деталей, установленных на станок с относительно большим

радиальным биением, необходимо было полностью исключить возвратно-поступательные и вращательные пары трения, а также пары трения качения в конструкции оправки. В качестве силового элемента предполагалось использовать хорошо зарекомендовавшую себя систему «сильфон–ресивер» с регулируемым давлением воздуха. Индентор (с элементами крепления к оправке) должен свободно перемещаться по радиальному направлению «у» относительно обрабатываемой детали, а по ортогональным направлениям «х» и «z» – не имел возможности перемещаться под воздействием сил  $P_x$  и  $P_z$ . С учётом этих требований разработана оправка пневматическая с ресивером (силовой элемент–сильфон со сжатым воздухом) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках (рис. 5).

Измерение силы выглаживания  $P_y$  при обработке детали, установленной с эксцентриситетом, показало почти полное отсутствие колебаний силы:  $\Delta P_y = 1,9 \text{ Н}$  по сравнению с обработкой другими оправками (рис. 6,а и 6,б).



а)



б)

Рис. 6. Зависимость составляющих силы выглаживания  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  [Н] от времени  $T$  [с] при выглаживании оправкой пневматической с ресивером (силовой элемент – сильфон со сжатым воздухом) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках:

$$R_{сф} = 2 \text{ мм}; S = 0,05 \text{ мм/об}; V \approx 0,02 \text{ м/с}; \omega = 1,3 \text{ с}^{-1}$$

Проведённые исследования силовых зависимостей в процессе алмазного выглаживания поверхностей деталей, установленных в приспособления станка с радиальным биением (или фасонных поверхностей), оправками с разными силовыми элементами и конструктивными особенностями, показывают, что колебания сил зависят не только от жёсткости и типа силовых элементов, но и от неравномерного перемещения подвижных пар трения. схватывания возвратно-поступательных пар трения в условиях сухого трения

Использование на производстве оправок с возвратно-поступательными парами трения требует либо очень точной установки деталей перед обработкой, либо выполнения финишной операции упрочнения непосредственно после предшествующей операции без переустановки детали.

Конструктивные особенности оправки пневматической с ресивером (силовой элемент – энергия сжатого воздуха в сильфоне) с параллелограммной установкой индентора на 4-х плоских стойках позволяет обрабатывать сложные фасонные поверхности и поверхности деталей, установленных с относительно большим биением с постоянной силой выглаживания  $P_y$ . Силовой элемент и конструктивные особенности оправки позволяют проводить обработку с высокими скоростями выглаживания без возникновения автоколебаний в системе «индентор–обрабатываемая поверхность детали».

#### **Список литературы:**

1. V.P. Kuznetsov, I.Yu. Smolin, A.I. Dmitriev, S.V. Smirnov, A.V. Makarov, A.E. Kiryakov, A.S. Yurovskikh, Finite element modeling of nano-structuring burnishing, Physical Mesomechanics, (2011) T.16, №6. – 87–97, (in Russian).

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

**МЕХАНОАКТИВАЦИЯ СВС СИНТЕЗА В ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ  
ФЕРРОТИТАНА И УГЛЕРОДА**

*А.В. Барановский, технолог, Прибытков Г.А., д.т.н, г.н.с., В.В. Коржова, к.т.н., с.н.с.,  
М.Г Креницын, технолог, В.В. Хомяков, магистр, Г.О. Данковцев, магистр  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, просп.  
Академический, 2/4,  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел. +7(999)-178-2742  
E-mail: [nigalisha@gmail.com](mailto:nigalisha@gmail.com)*

**Введение.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет собой высокопроизводительный и экономичный метод синтеза тугоплавких соединений, основанный на тепловыделении при протекании химической реакции. Среди многочисленных практических приложений СВС можно выделить получение металломатричных композитов «дисперсная упрочняющая фаза – металлическая связка» [1-3]. В качестве упрочняющей фазы в металломатричных композитах обычно используют карбиды или бориды переходных металлов, так как эти соединения имеют большую отрицательную теплоту образования. Благодаря этому реакция синтеза тугоплавкого соединения в волновом режиме становится возможной при добавлении в реакционную смесь инертного в тепловом отношении порошка металла или сплава, который не участвует в реакции, а образует металлическую связку, скрепляющую дисперсные частицы упрочняющей фазы.

В качестве дисперсной упрочняющей фазы в СВС металломатричных композитах чаще всего используют кубический карбид титана, который образует равноосные включения, равномерно распределенные в металлической матрице. Существенным ограничением широкого практического применения СВС для получения металломатричных композиционных порошков на основе карбида титана является высокая стоимость титанового порошка, что сводит на нет экономические и технологические преимущества СВС перед печными способами. Поэтому замена титанового порошка в реакционных смесях более дешевым титансодержащим сырьем или полуфабрикатами имела бы большой экономический эффект.

Среди такого титансодержащего сырья особого внимания заслуживает ферротитан, который производится в виде слитков. Благодаря крупнотоннажному производству и дешевому сырью цена ферротитана примерно в 15 раз меньше, чем цена товарных титановых порошков, используемых в СВС технологии. Ферротитан разных марок содержит от 25 до 70 % титана, остальное железо и в небольшом количестве примеси алюминия и кремния. Для применения ферротитана в качестве замены титана в реакционных порошковых смесях необходимо, прежде всего, получить из слитков достаточно мелкий порошок, затем смешать порошки ферротитана и углерода и отработать режимы механоактивации реакционной смеси, обеспечивающие волновой режим горения с максимальным выходом целевых продуктов синтеза: карбида титана и связки на основе железа. СВС порошки подобного состава были получены ранее синтезом в реакционных смесях титана, углерода (сажи) и порошка сплава на основе железа, образующего металлическую связку. В частности, синтезированы и исследованы порошки

на основе карбида титана со связкой из высокохромистого чугуна ПГ-С27 [4] и быстрорежущей стали Р6М5 [5, 6].

Целями настоящей работы было: определить фазовый состав и исследовать микроструктуру ферросплава в состоянии поставки, а также исследовать фракционный, фазовый состав и морфологию порошка, полученного дроблением и механопомолом при различных режимах обработки.

### Материалы и методы

В качестве исходного материала в работе использован ферротитан марки ФТи35С5 в виде кусков различного размера и формы. Химический состав ферротитана, согласно сертификату поставщика, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав ферротитана ФТи35С5  
(согласно сертификату поставщика)

Химический состав, %										
Ti	Al	Si	C	P	S	Cu	V	Mo	Zr	Sn
32,45	9,75	4,65	0,18	0,035	0,029	0,85	0,88	0,35	0,15	0,02

Куски ферротитана дробили под прессом, а полученный грубодисперсный порошок (< 315 мкм.) мололи на планетарной мельнице «Активатор-2С с двумя барабанами объемом по 250 мл. каждый. Полученную фракцию порошка <56 мкм. смешивали с порошком технического углерода (сажа марки П-803). Содержание сажи в реакционной смеси (7,5 масс. %) было рассчитано в предположении, что весь титан, содержащийся в ферротитане, прореагирует с углеродом с образованием карбида титана эквивалентного состава. Полученную смесь подвергали механоактивации с вариацией длительности обработки. Интенсивность помола порошка ферротитана и последующей механоактивации порошковой смеси регулировали изменением скорости вращения барабанов и отношением массы шаров  $M_{ш}$  к массе порошковой загрузки  $M_{п}$ . Реакционную смесь насыпали в цилиндрические бумажные стаканчики, склеенные из кальки, и слегка уплотняли. Полученная при этом пористость составляла около 60%. Сверху реакционной смеси насыпали поджигающую смесь из порошков состава  $Ti+Si \rightarrow Ti_5Si_3$ , зажигание которой производили спиралью из молибденовой проволоки, через которую пропускали электрический ток.

Структурные исследования проводили на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН методами рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-7, Буревестник, Россия), оптической металлографии (AXIOVERT-200MAT, Zeiss, Germany) и растровой электронной микроскопии (EVO 50, Zeiss, Germany) с определением элементного состава методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX). Идентификацию фаз по результатам рентгеноструктурного анализа проводили с применением базы рентгеновских данных ASTM, а обработку данных – с использованием программы PDWIN

### Результаты и обсуждение

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа (рис. 1) исходный ферротитан содержит две фазы:  $Ti(Fe_{0,875}Al_{0,125})_2$  - твердый раствор алюминия в интерметаллиде  $TiFe_2$  и  $Ti_{5,21}Fe_{0,02}Si_{2,7}$  - твердый раствор железа в силициде титана  $Ti_5Si_3$ . Растворение дополнительных элементов в этих тугоплавких соединениях неудивительно, так как интерметаллид  $TiFe_2$  и силицид  $Ti_5Si_3$  на двойных диаграммах [7] имеют широкие области

гомогенности. Фаза на основе интерметаллида является основной (84-89 масс. %), а содержание фазы на основе силицида – 16-11 %.

Для приготовления реакционных смесей использовали сухое смешивание в течение 4 часов порошка ферротитана (<56 мкм) с порошком сажи. СВС в полученной реакционной смеси не удалось инициировать, поэтому смесь подвергали механоактивации при интенсивном режиме (960 об/мин; ш/см =10) с вариацией длительности обработки.

Механоактивированные смеси были использованы для СВС. Было установлено, что минимальное время МА при интенсивном режиме (960 об/мин; ш/см = 20), необходимое для инициирования волнового режима синтеза составляет 5 минут. Зависимость температуры горения  $T_2$  от длительности механоактивации имеет экстремальный характер (рисунок 2); максимум  $T_2$  находится в интервале 5-10 минут. Максимальные температуры при волновом режиме синтеза изменяются от 900 до 1015 °С в зависимости от длительности МА. Этот интервал находится значительно ниже температур эвтектического плавления в двойных системах титана, железа и углерода. Содержание алюминия и кремния в ферротитане, по-видимому, недостаточно, чтобы заметно повлиять на температуру появления жидкой фазы в реакционной смеси. Поэтому можно предполагать, что мы имеем твердофазный режим синтеза в условиях нашего эксперимента.

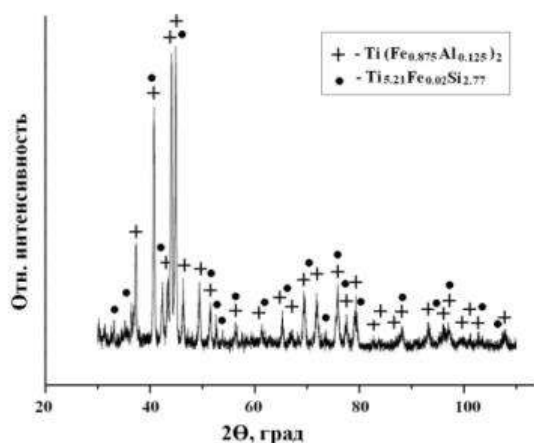


Рис. 1. Рентгенограммы порошка ферротитана ФТи35С5

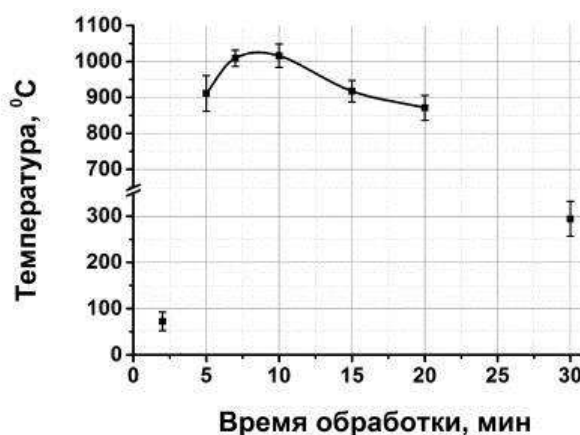


Рис. 2. Зависимость температуры горения в волновом режиме от времени МО ФТи35С5+С

Далее был проведен рентгенофазовый анализ продуктов синтеза в реакционных смесях подвергнутых МА. Соответствующие рентгенограммы приведены на рис. 3, а результаты их расшифровки – в таблице 2.

В отличие от рентгенограмм с механоактивированных порошковых смесей (рис. 2), на которых наблюдается сильное уширение линий, на рентгенограммах с СВС продуктов видим острые пики, кроме рентгенограммы с продуктов синтеза в смеси с длительностью МА 30 минут. Уширение линий на этой рентгенограмме связано с большим содержанием непрореагировавших исходных фазы для всех линии Фазовый состав продуктов СВС приведен в таблице 3.

Таблица 2. Фазовый состав продуктов СВС в МА порошковых смесях «ФТ+С»

Время МА (мин.)	Относительное содержание фаз в СВС продуктах, вес. %			
	Ti(Fe <sub>0.875</sub> Al <sub>0.125</sub> ) <sub>2</sub>	Ti <sub>5.21</sub> Fe <sub>0.02</sub> Si <sub>2.77</sub>	TiC	α-Fe (Al,Si)

Исходный ФТ (< 56 мкм)	84	16	0	0
5 мин	15	3	36	46
10 мин	4	2	42	52
15 мин	7	2	41	50
20 мин	17	5	42	36
30 мин	45	26	11	18

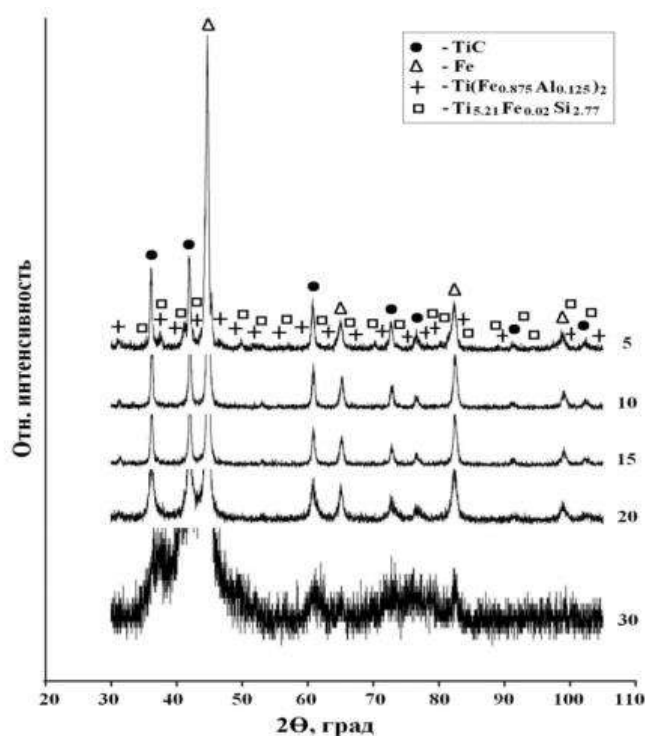


Рис. 3. Рентгенограммы СВС продуктов в реакционных смесях ферротитана и сажи, подвергнутых МА в планетарной мельнице при интенсивном режиме (960 об/мин; ш/см. =20). Числа около кривых – время МА в минутах

Сопоставляя данные таблицы с рис 3, видим вполне понятную корреляцию содержания карбида титана – фазы, обеспечивающей тепловыделение при синтезе с температурой горения. В СВС продукте, образующемся после 10 минут МА, содержится максимум TiC и минимум непрореагировавших исходных фаз ферротитана. Однако и в этом случае наблюдается недореагирование, хотя присутствие непрореагировавших фаз минимально. Монотонное уменьшение  $T_2$  с увеличением длительности МА в интервале 10-20 минут можно объяснить началом механосинтеза в процессе механоактивации с образованием на поверхности титана тонкой пленки карбида титана, разделяющей реагенты. В реакционных смесях, подвергнутых МА в течение 30 минут, содержание продуктов механосинтеза оказывается достаточным для полного блокирования волнового режима горения. Содержание карбида титана, как продукта синтеза, ответственного за тепловыделение, в этом случае составляет всего 11%. (табл. 2). Зафиксированный подъем температуры образца до 300 С может быть связан с нагревом тепловым импульсом от поджигающей смеси.

Пористые спеки – продукты синтеза легко рассыпаются в мелкий порошок, поэтому дробления спеков под прессом не требуется. В полученном порошке содержание фракции меньше 25 мкм составляет около 85 %. СВС композиционный порошок состоит из



отдельных частиц размером 1 мкм и менее (рис. 4а) и рыхлых конгломератов из этих частиц (рис. 4б).

### Выводы

1. В волновом режиме горения механоактивированных порошковых смесей ферротитана ФТi35С и углерода (сажи) синтезированы металломатричные композиты «карбид титана – связка из легированного феррита».
2. Установлены режимы механоактивации, обеспечивающие максимальный выход целевых продуктов синтеза.
3. Согласно результатам измерения максимальной температуры на фронте реакции в механоактивированных реакционных смесях реализуется твердофазный режим горения.
4. Продукты синтеза состоят из отдельных частиц металломатричного композита размером 1 мкм и менее и конгломератов из этих частиц.

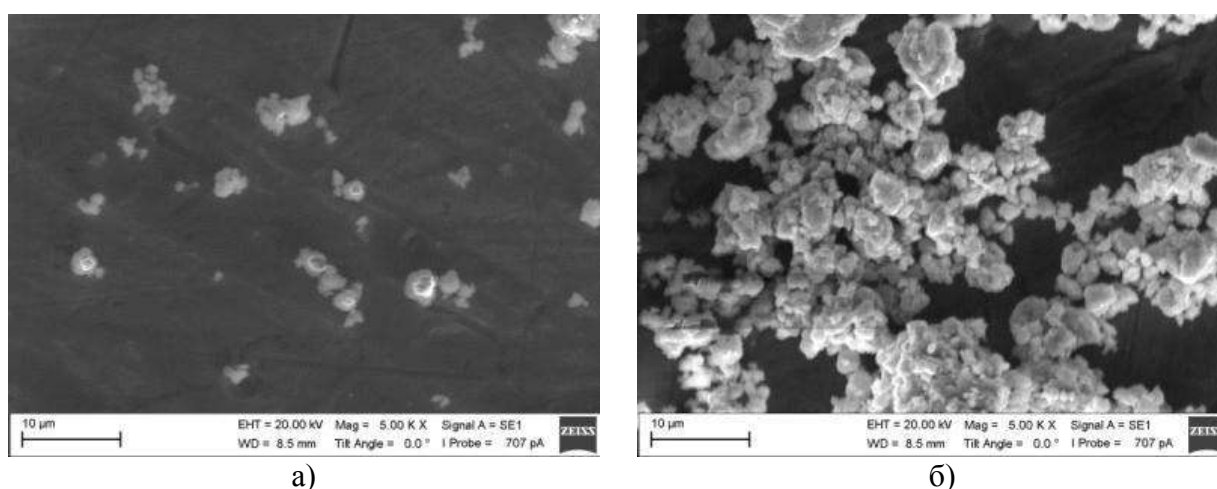


Рис. 4. Морфология конгломератов (а) и отдельных частиц порошка (б) в СВС продукте, синтезированном из механоактивированных в течение 10 минут порошковых смесей ФТ+С. Режим МА: 960 об/мин; ш/см =20

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23. при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-32-00330).*

### Список литературы:

1. И.П. Боровинская, Г.А., Вишнякова, В.М. Маслов, А.Г Мержанов. О возможности получения композиционных материалов в режиме горения // Процессы горения в химической технологии и металлургии. Под ред. АГ Мержанова. Черногловка: ОИХФ АН СССР. – 1975. – С.141-149.
2. А.С. Рогачев, Ю.А. Гальченко, З.Г. Асламазашвили, А.Н. Питюлин. Микронзондовое исследование композиционных материалов, получаемых при горении порошков Ti, Cr, C и одного из металлов группы Fe // Известия АН СССР. Неорганические материалы. – 1986. – т. 22. – №11. – С.1842-1844.
3. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику // М.: Физматлит. – 2012. – 400 с.
4. Е.Н. Коростелева, Г.А. Прибытков, С.С. Каламбаева, В.В. Коржова, В.Е. Стрельницкий. «СВС композиционные порошки «TiC – чугунная связка» для наплавки и напыления, синтезированные на воздухе». // Известия вузов. Физика. – 2015. – т. 58. – №6/2. – С.152–157.

5. E. N. Korosteleva, G. A. Pribytkov, M. G. Krinitcyn, A. V. Baranovskii, V. V. Kor-zhova, V. E. Strel'nitskij, "Fabrication of «TiC-HSS Steel Binder» Composite Powders by Self-Propagating High Temperature Synthesis" // Key Engineering Materials. – 2016. – vol. 712. – pp. 195-199.

6. Г.А. Прибытков, В.В. Коржова, А.В. Барановский, М.Г. Криницын. Фазовый состав и структура композиционных порошков карбида титана со связкой из стали Р6М5, полученных методом СВС // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2017. – № 2, С. 64-71.

7. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т./ под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – т.2. – 1023с.

## СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

<sup>1,2</sup>И. Д. Кучумова, аспирант

<sup>2</sup>И. С. Батраев, м. н. с.

<sup>1</sup>Н. Ю. Черкасова, аспирант

<sup>2</sup>Д. К. Рыбин, м. н. с.

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. (383)346-08-43

<sup>2</sup>Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 15, тел. (383)333-16-12

E-mail: ivannakz@mail.ru

Условия эксплуатации морских трубопроводов связаны с интенсивным абразивным изнашиванием и воздействием агрессивной морской среды, что приводит к снижению их эксплуатационных характеристик и срока службы трубопровода. Использование дорогостоящих износостойких и коррозионностойких сплавов способствует решению отмеченной проблемы, но не всегда является рациональным. Формирование износостойких и коррозионностойких покрытий позволяет повысить триботехнические свойства, химическую стойкость изделий и увеличить срок эксплуатации без значительного возрастания их стоимости. Применение многокомпонентных сплавов с высокой стеклообразующей способностью на основе железа в качестве защитных покрытий может способствовать значительному увеличению срока эксплуатации.

Методы газотермического напыления позволяют формировать защитные покрытия из металлических сплавов. К термическому напылению относят методы плазменного, детонационного и высокоскоростного напыления. В работах [1-3] представлены результаты триботехнических и коррозионных испытаний покрытий из многокомпонентных аморфных сплавов на основе железа, полученных методами термического напыления. Большая часть представленных работ посвящена получению покрытий методом высокоскоростного напыления. Значительно реже встречаются работы по плазменному напылению покрытий из аморфных сплавов на основе железа. Публикации, посвященные детонационному напылению покрытий на основе железа, встречаются еще реже в зарубежной литературе. В отечественной литературе практически отсутствуют данные по детонационному напылению сплавов на основе железа с высокой стеклообразующей способностью. Особого внимания заслуживает работа Ксие с соавторами [4], в которой приводится сравнение микроструктуры и механических свойств покрытий  $Fe_{48}Mo_{14}Cr_{15}Y_2C_{15}B_6$ , полученных методами детонационного, плазменного и высокоскоростного напыления. Детонационные покрытия имеют наибольшее содержание аморфной фазы, высокие показатели твердости, износостойкости и наименьшую пористость среди исследованных покрытий.

Целью данной работы являлось определение износостойкости детонационных покрытий из многокомпонентного сплава  $Fe_{66}Cr_{10}Nb_5B_{19}$  и ее сравнение с износостойкостью сталей 12X18H10T и Ст 3.

Напыление покрытий проводили на детонационном комплексе CCDS2000, разработанном в ИГиЛ СО РАН [5, 6]. Детонационная пушка установки имеет ствол переменного сечения [7] с камерой сгорания длиной 700 мм и диаметром 20 мм и дульной (разгонной) секцией длиной 300 мм и диаметром 16 мм. Дистанция напыления составляла 200 мм. При напылении использовали ацетиленокислородную взрывчатую смесь эквимольного состава (O/C  $\approx$  1). Объем взрывчатой смеси варьировали в диапазоне 50-

70% от общего объема ствола установки. Ранее проведенные исследования показали, что данные параметры позволяют получать качественные покрытия с высокой степенью аморфизации, высокой адгезией, низкой пористостью и высокой твердостью [8]. В качестве материала подложки использовали пластины из нержавеющей стали 12X18H10T (75×25×2 мм). Покрытия наносили с помощью технологической программы LINE (нанесение покрытия со сканированием в линию). Смещение сканирования от выстрела к выстрелу происходило на половину диаметра пятна напыления, которое составляло порядка 26 мм. Для напыления использовали фракцию порошка сплава Fe<sub>66</sub>Cr<sub>10</sub>Nb<sub>5</sub>B<sub>19</sub> 45-75 мкм.

Для исследования морфологии и микроструктуры покрытий использовали растровую электронную микроскопию (Carl Zeiss Axio Observer Alm). Пористость оценивали на оптическом микроскопе OLYMPUS GX-51 с программным обеспечением Stream Essentials 1.9.1. Рентгенограммы образцов были получены при помощи рентгеновского дифрактометра D8 ADVANCE (Bruker AXS). Содержание аморфной фазы в покрытиях определяли методом Ритвельда с использованием программного обеспечения TOPAS 4.2 (Bruker AXS).

Для комплексного исследования механических характеристик покрытий проводили дюрометрические испытания на полуавтоматическом микротвердомере Wolpert 402 MVD по ISO 6507-1:2007 «Измерение микротвердости методом Виккерса». Испытаниям подвергали нетравленные микрошлифы, подготовленные по стандартной методике. Износостойкость покрытий в условиях воздействия нежестко закрепленных абразивных частиц оценивали в соответствии со стандартом ASTM G65. В качестве образцов использовали пластины размером 75×25×2 с шероховатостью Ra ≤ 2,5. Частота вращения ролика составляла 200 об/мин. Проведено пять серий испытаний по 200 оборотов при усилии прижатия ролика, равном ≈ 45 Н. В качестве абразива использовали электрокорунд с размером зерен ~ 300 мкм. Захватываемые роликом абразивные частицы перемещались по поверхности испытуемого образца, что приводило к его изнашиванию. Полученные данные сравнивали с эталонными материалами, в качестве которых использовали пластины из нержавеющей и углеродистой стали. По окончании испытаний проводили измерения потери массы образцов исследуемых материалов путем их взвешивания. После испытаний поверхности трения были изучены методом растровой электронной микроскопии.

Рентгенограммы образцов покрытий представлены на рисунке 1. Общим для всех покрытий является наличие широкого дифракционного гало в области 40°-50° (2θ). Содержание кристаллической фазы в покрытиях приведено в таблице 1. Покрытие, полученное при объеме взрывчатой смеси, равном 70% от объема ствола, имеет наименьшее содержание кристаллической фазы. Содержание кристаллической фазы в исходном порошке Fe<sub>66</sub>Cr<sub>10</sub>Nb<sub>5</sub>B<sub>19</sub> (45-75 мкм) составляет ~ 31 масс. %.

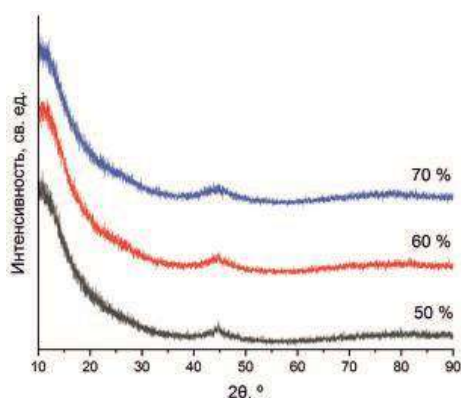


Рис. 1. Дифрактограммы покрытий  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ , полученных при различных значениях объема взрывчатой смеси  $\text{O}_2+\text{C}_2\text{H}_2$ .

Металлографические исследования покрытий, показали, что с увеличением объема взрывчатой смеси термическое воздействие на порошок увеличивается, что сопровождается большим нагревом и ростом степени проплавления частиц в процессе напыления (рисунок 2). Наблюдается значительное изменение формы расплавленных частиц при их соударении с подложкой.

Результаты измерения пористости и микротвердости покрытий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание кристаллической фазы, пористость и микротвердость по Виккерсу детонационных покрытий  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ .

Объем взрывчатой смеси, % от объема ствола	Содержание кристаллической фазы, масс. %	Пористость, %	Твердость по Виккерсу, $\text{HV}_{100}$
50	$2,0 \pm 0,2$	$2,34 \pm 0,91$	$868 \pm 163$
60	$1,5 \pm 0,2$	$0,67 \pm 0,36$	$769 \pm 55$
70	$1,0 \pm 0,2$	$0,54 \pm 0,22$	$764 \pm 93$



Рис. 2. Морфология поверхности детонационных покрытий  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{V}_{19}$ .

На рисунке 3 представлена гистограмма потери массы в пяти сериях испытаний. На рисунке 4 представлены микрофотографии лунки износа детонационных покрытий. Поверхность трения в лунке износа образцов покрытий характеризуется наличием канавок. На некоторых участках поверхности трения наблюдаются глубокие царапины, свидетельствующие о развитии процессов интенсивного изнашивания.

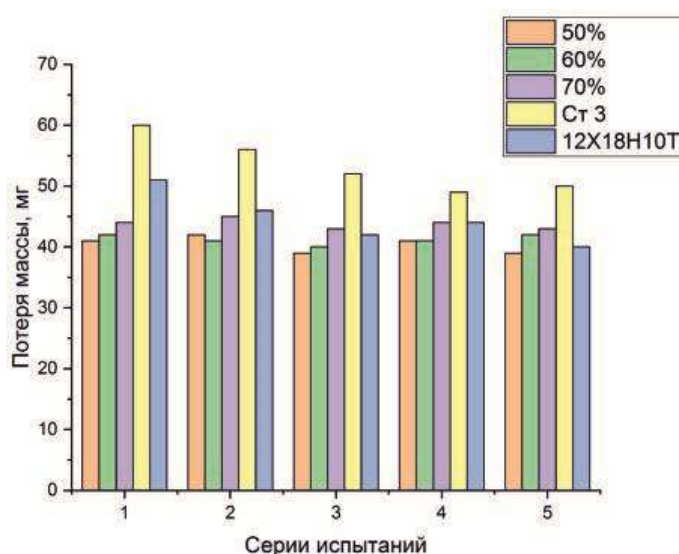


Рис. 3. Результаты испытаний износостойкости покрытий из сплава  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  и образцов стали.

Металлографические исследования поверхности и поперечных сечений покрытий показывают, что с увеличением степени заполнения происходит снижение концентрации дефектов в покрытиях. Наименьшие показатели пористости соответствуют покрытию, полученному при объеме взрывчатой смеси, равном 70% от объема ствола.

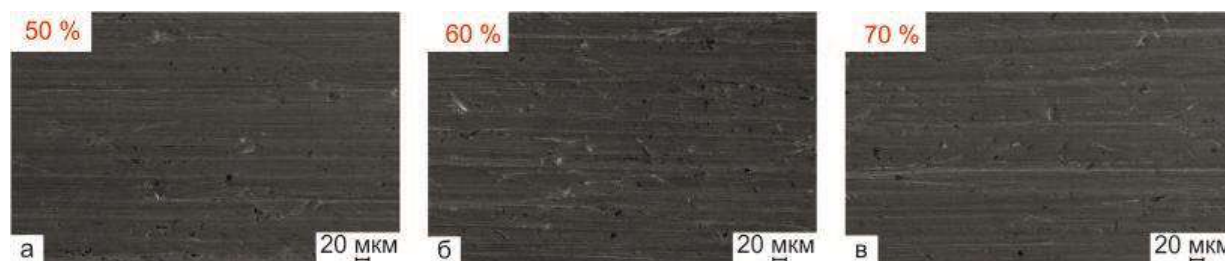


Рис. 4. Морфология изношенной поверхности покрытий  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$ .

Результаты анализа износостойкости покрытий  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  свидетельствует о том, что в условиях воздействия нежестко закрепленных абразивных частиц покрытия, полученные при объемах взрывчатой смеси, равных 50-70%, характеризуются близкими значениями износостойкости. Износостойкость покрытий из сплава  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  выше износостойкости Ст 3 и соизмерима с износостойкостью 12Х18Н10Т. В ходе дальнейших исследований будет проведен поиск возможных способов повышения износостойкости детонационных покрытий, в том числе за счет введения дисперсных керамических частиц.

Исследование выполняется при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках проекта № 19-43-543034.

#### Список литературы:

1. Yoon S., Kim J., Kim B.D., Lee Ch. Tribological behavior of  $\text{B}_4\text{C}$  reinforced Fe-base bulk metallic glass composite coating // *Surface & Coatings Technology*. – 2010. – V. 205. – P.1962–1968.
2. Yoon S., Kim J., Bae G., Kim B., Lee Ch. Formation of coating and tribological behavior of kinetic sprayed Fe-based bulk metallic glass // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2011. – V. 509. – P.347–353.
3. Xie L., Xiong X., Zeng Y., Wang Y. The wear properties and mechanism of detonation sprayed iron-based amorphous coating // *Surface & Coatings Technology*. – 2019. – V. 366. – P.146-155.
4. Xie L., Wang Y.-M., Xiong X., Chen Z.-K. Comparison of Microstructure and Tribological Properties of Plasma, High Velocity Oxy-Fuel and Detonation Sprayed Coatings from an Iron-Based Powder // *Materials Transactions*. – 2018. - V. 59. - P.1591-1595.
5. Ulianitsky V., Shtertser A., Zlobin S., Smurov I. Computer-Controlled Detonation Spraying: From Process Fundamentals Toward Advanced Applications // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2011. - V. 20. - P.791-801.
6. Ульяницкий В.Ю. CCDS2000 – оборудование нового поколения для детонационного напыления // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2013. - № 10. - С.36-41.
7. Batraev I.S., Prokhorov E.S., Ul'yanitskii V.Yu. Acceleration and Heating of Powder Particle by Gas Detonation Products in Channels with a Conical Passage // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. - 2014. - V. 50. - P.315–322.
8. Kuchumova I. et al. Formation of Metallic Glass Coatings by Detonation Spraying of a  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  Powder // *Metals*. - 2019. - V. 9 – P. 846 – 858.



**ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДВУКОМПОНЕНТНОГО Zn – Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
ПОРОШКООБРАЗНОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАРИСТОРНОЙ КЕРАМИКИ**

*Л.В. Осокина, аспирант гр. А6-45, Ю.Л. Шаненкова, к.т.н., ассистент,  
А.И. Циммерман, магистр гр. 5АМ84,  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.8(923)-412-79-45  
E-mail: [osokinaliliya@gmail.com](mailto:osokinaliliya@gmail.com)*

Для повышения качественных показателей аппаратуры, улучшения надежности и стабильности работы применяют ограничители перенапряжений с нелинейной вольтамперной характеристикой - варисторы. Основным материалом варистора является оксид цинка (ZnO), обладающий полупроводниковыми свойствами, процентное содержание которого варьируется от 65 % до 98 % [1]. Однако, для получения нелинейной ВАХ необходимо введение небольшого процента примесей из различных оксидов металлов, например, оксидов висмута (III), сурьмы, иттрия, циркония, кобальта, марганца, свинца и алюминия [2]. Наиболее важной допирующей примесью является оксид висмута (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), так как при наличии Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> спекание ZnO проходит через жидкую фазу, от количества примеси Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> зависит темп роста зерна ZnO [3].

В современной промышленности при изготовлении варисторов распространена и применяется следующая технология: металлооксидные компоненты керамики измельчаются с помощью шарового или высокоэнергетического шарового помола, дозируются в соответствии с рецептурой, смешиваются в жидкой среде для равномерности распределения легирующих добавок. Полученный шликер высушивают и формируют в гранулы для последующего прессования.

Однако, методам шарового, высокоэнергетического шарового помола присущи такие недостатки как: энергетические и временные затраты, большая ширина распределения промалываемых частиц по размерам, попадание инородных частиц в металлооксидный порошок с поверхности шаров, из-за их механической наработки, большая времязатратность.

В данной работе показана возможность получения ультрадисперсного двухкомпонентного материала ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со структурой ядро-оболочка в едином процессе плазмодинамического синтеза для изготовления варисторной керамики.

Синтез композиционного материала ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со структурой ядро-оболочка производится в системе, основанной на использовании сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с цинковыми электродами (рисунок 1) [4].

Ускоритель получает импульсное электропитание от емкостного накопителя энергии с зарядным напряжением до  $U_{зар}=5$  кВ и суммарной емкостью  $C=28,8$  мФ. В начальный момент времени центральный электрод (1) и поверхность ускорительного канала (10) соединены проводящей перемычкой. В качестве перемычки используется углеродный спрей, нанесенный на поверхность канала формирования плазменной структуры. Для получения в одном кратковременном цикле работы ускорителя композиционного материала системы Zn-Bi-O в канал формирования плазменной структуры дополнительно вводят висмут. При замыкании ключа К (рисунок 1) в канале формирования плазменной структуры происходит пробой межэлектродного промежутка с образованием дугового разряда. Сильноточный дуговой разряд обеспечивает электроэрозионную наработку цинкового материала с поверхности ускорительного канала. Сверхзвуковая плазменная струя (11), содержащая цинк и висмут, выносится из ускорительного канала в пространство рабочей камеры-реактора, заполненной кислородом. При распылении



материала происходит плазмохимическая реакция между цинком, висмутом и кислородом с образованием фаз оксидов металлов [4-5], весь процесс длится порядка 1 мс. По окончании протекания плазмохимической реакции и осаждения материала из взвешенного состояния на стенки камеры-реактор осуществляется сбор высокодисперсной фракции продукта синтеза.

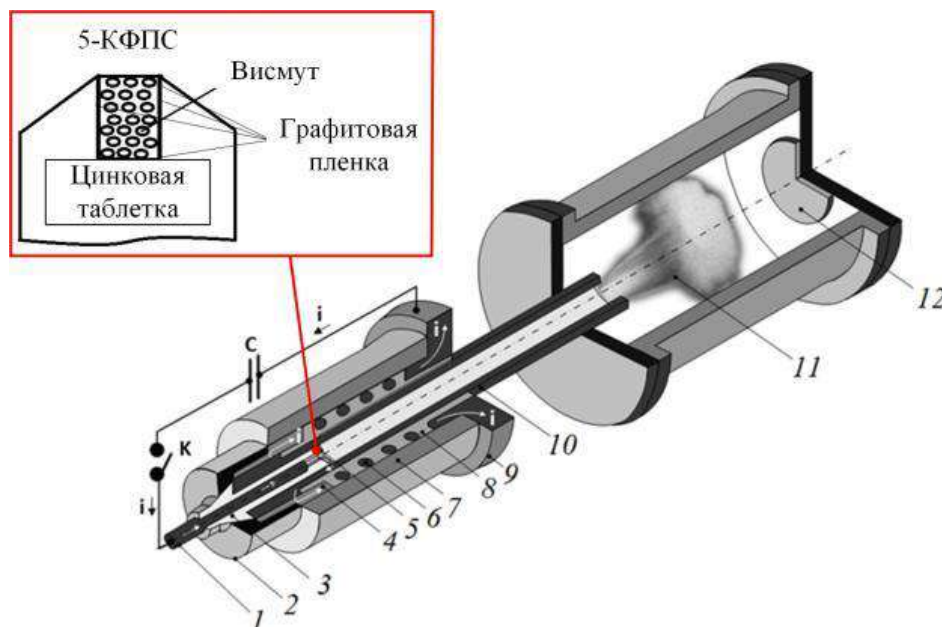


Рис. 1. Система плазмодинамического синтеза: 1 – центральный электрод; 2 – заглушка; 3 – изолятор центрального электрода; 4 – контактный цилиндр; 5 – канал формирования плазменной струи (КФПС); 6 – катушка; 7 – корпус; 8 – изоляция; 9 – контактный фланец; 10 – электрод-ствол; 11 – сверхзвуковая плазменная струя, 12 – мишень-подложка.

Экспериментальные исследования по получению ультрадисперсных объемных образцов порошкообразного продукта проведены с использованием метода искрового плазменного спекания на установке GT Advanced Technologies (model 10-4 SPS). Для сравнительного анализа получение объемных материалов производилось для двух видов продуктов: 1 – полученный продукт плазмодинамическим методом системы Zn-Bi-O, 2 – смесь из коммерческих порошков оксида цинка ZnO и оксида висмута  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  в соотношении 95%:5%, соответственно. Процесс спекания образцов проводился в вакууме в графитовой пресс-форме диаметром 12,7 мм с графитовыми пуансонами под давлением 60 МПа и при температуре спекания  $T=1200\text{ }^\circ\text{C}$ .

Полученные порошкообразный материал и керамические образцы исследовались без дополнительных термических или других обработок методом рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD 7000S с медным катодом,  $\text{CuK}\alpha_1$ -излучение,  $\lambda_1=1,540598\text{ \AA}$ ). Рентгеновский структурно-фазовый анализ проводился с использованием программ PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+. Размер и морфология материалов исследовались с использованием сканирующей электронной микроскопии (Hitachi TM3000). Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения проведена на микроскопе JEOL JEM 2100F.

На рисунке 2 представлены рентгеновские дифрактограммы синтезированного материала (а), структурные модели образованных материалов, предположительно, оксида цинка ZnO и оксида висмута  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (с, d), рентгеновские дифрактограммы коммерческих оксидов цинка и висмута (b). Установлено, что основной кристаллической фазой

синтезированного материала методом плазмодинамического синтеза является оксид цинка ZnO, наиболее близкий к структурной модели PDF:00-036-1451 гексагональной сингонии с пространственной группой SG:P63mc. Кроме того на XRD-картинах присутствует фаза оксида висмута Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наиболее близкая к тетрагональной структурной модели PDF 73-6885 с пространственной группой SG:P-42/c. XRD-картина коммерческих продуктов (b) подтверждает, что они полностью отвечают заявленному фазовому составу – оксиду цинка (синий, не закрашенный круг) и оксиду висмута (красный, закрашенный круг).

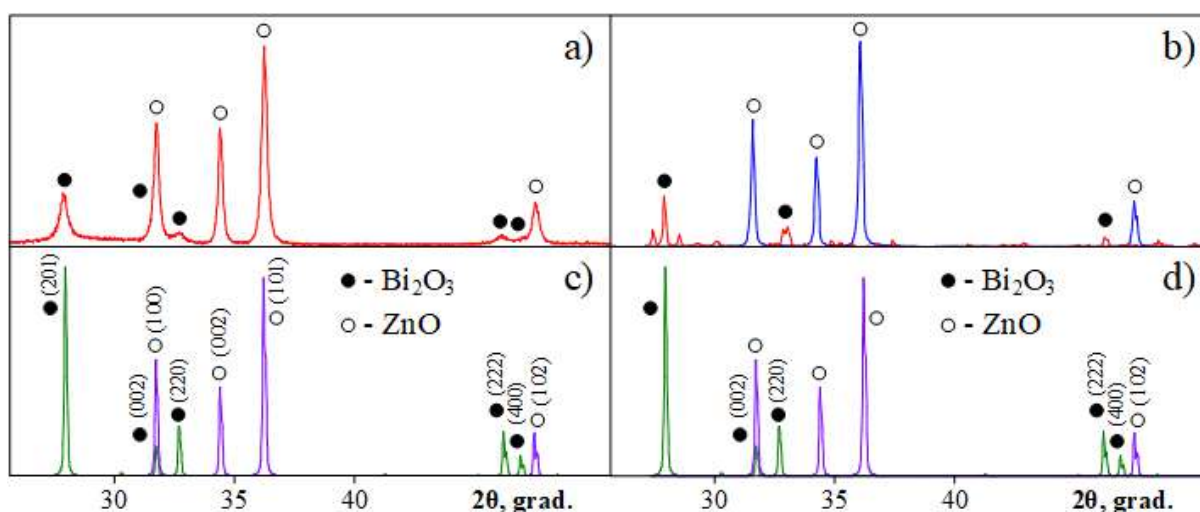


Рис. 2. а) Дифрактограмма полученного плазмодинамическим синтезом порошкообразного продукта; b, d) Структурные модели из базы данных PDF4 +; c) Дифрактограмма коммерческого образца.

Содержание кристаллического ZnO в продукте плазмодинамического синтеза составляет около 95,0 % при среднем размере областей когерентного расстояния (ОКР) 184 нм и степени внутренних микроискажений структуры  $\Delta d/d \approx 3,5 \cdot 10^{-4}$ , при этом Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет соответственно около 5,0 % при среднем размере ОКР  $\approx 43$  нм и  $\Delta d/d \approx 2,5 \cdot 10^{-3}$ . Стоит отметить, что основным преимуществом плазмодинамического метода является отсутствие в синтезируемом продукте остаточных фаз чистых металлов висмута и цинка, а также синтез фаз тройных систем элементов Zn, O, Bi.

На просвечивающем микроскопе высокого разрешения получены HRTEM-снимки синтезированного продукта в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (рисунок 3). Округлая частица 1 характерной формы для большинства частиц полученного материала и размером около 200 нм близка к сферической. На дифракционной картине (нанодифракция nanoSAED), полученной с этой частицы, идентифицируются рефлексы, относящиеся к отражениям плоскостей фаз, как оксида цинка ZnO, так и оксида висмута Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Аналогичный результат дала индексация рефлексов на nanoSAED-2 на геометрически правильном кристалле 2, который как отмечено ранее в работах [4-5], соответствует монокристаллу гексагонального чистого оксида цинка. Средняя величина межплоскостного расстояния объекта 1 выделяется двумя характерными значениями  $d=2.81$  Å и  $d=3.19$  Å, что наиболее близко принадлежит фазам оксида цинка ZnO (100) и оксида висмута Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (201), соответственно. Причем стоит отметить, что Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> идентифицируется только в оболочке частицы 1.

Таким образом, результат индексации рефлексов показал, что отражения могут соответствовать двум фазам, что свидетельствует о структуре ядро-оболочка ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> синтезированного материала плазмодинамическим методом. На более правильной геометрической частице 2 (прямоугольная) по nanoSAED определяются также две фазы

(ZnO и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), однако определенное межплоскостное расстояние на этой частице определяет ее только как оксид цинка ZnO. Исходя из вышесказанного, стоит отметить, что наиболее правильные геометрические частицы относятся только к фазе оксида цинка, в то время как округленные имеют структуру ядро ZnO с оболочкой Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

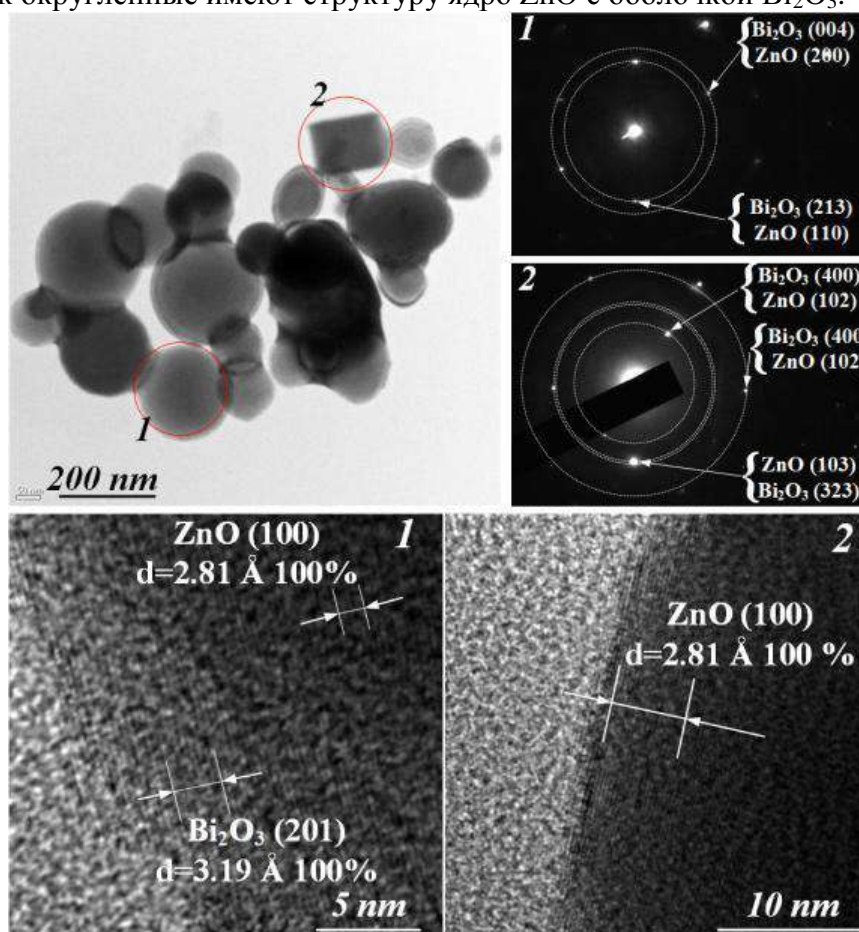


Рис.3. HRTEM-снимки синтезированного продукта.

На рисунке 4 приведены SEM-снимки сколов и шлифов круговых поверхностей образцов композитной оксидно-цинковой керамики из продукта плазгодинамического синтеза структуры ядро-оболочка ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в сравнении с керамикой, полученной из коммерческих порошков ZnO и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рисунок 4 а). Сравнение микроструктуры образцов без сомнений показывает, что использование ультрадисперсных композитных плазгодинамических порошков ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> позволяет без дополнительного перемешивания получить более однородную требуемую микроструктуру в виде зерен ZnO в матрице из более плотного материала на основе Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рисунок 4 б). Такая структура обусловлена реализацией процесса прямого плазгодинамического синтеза, при котором получаемые порошки обладают специфической отличительной особенностью, заключающейся в том, что частицы порошка состоят из зерен оксида цинка в оболочке из оксида висмута. Такое строение частиц композиционного порошка исключает необходимость перемешивания порошка с целью равномерного распределения малой по массе добавки. При спекании под давлением оболочки из легкоплавкого оксида висмута в жидком состоянии соединяются, образуя матрицу, консолидирующую зёрна ZnO с последующим образованием оксидноцинковой керамики. Композиционная керамика из коммерческих порошков имеет более крупные размеры зерен по сравнению с образцом, спеченным из синтезированного продукта, хотя режим спекания для двух образцов был одинаковым.

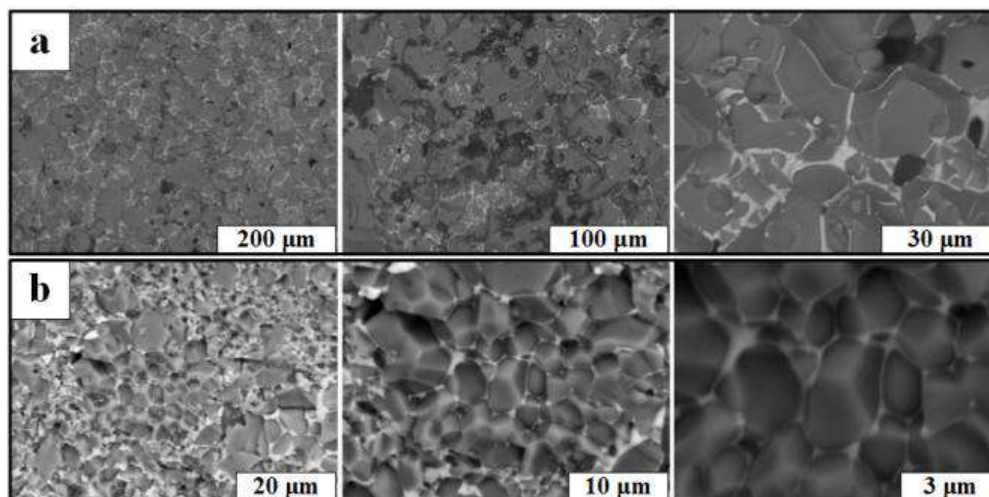


Рис. 4. SEM – снимки коммерческого образца (a) и синтезированного материала со структурой ядро-оболочка (b).

На рисунке 5 представлены нелинейные вольтамперные характеристики полученных образцов из коммерческих порошков (a) и дисперсного продукта ПДС со структурой ядро-оболочка (b). Так как искровое плазменное спекание позволяет ограничить рост зерна в процессе спекания, это, в совокупности с одним из преимуществ ПДС, а именно, малым размером получаемых кристаллитов, сказывается на конечной величине среднего размера зерен оксида цинка в получаемой керамике. Это в свою очередь определяет величину пробивного напряжения, которая в случае использования продуктов со структурой ядро-оболочка значительно выше по сравнению с образцом, полученным из коммерческих порошков. Также наблюдается рост и коэффициента нелинейности до 4,6.

Сравнение полученных величин коэффициентов нелинейности с известными данными показывают, что они малы. Тем не менее, их можно значительно повысить за счет внедрения дополнительных оксидов в плазму разряда коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

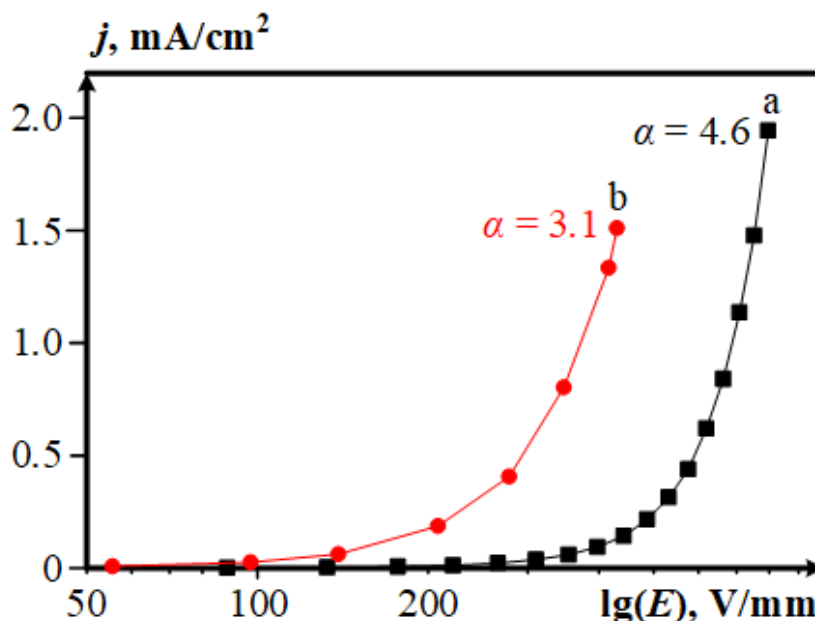


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики образцов, синтезированного плазмодинамическим методом (a) и коммерческого (b).

В работе показана принципиальная возможность получения ультрадисперсных композитных материалов ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со структурой ядро-оболочка в едином кратковременном процессе плазмодинамического синтеза. Применение такого порошкового композита положительно сказывается на структуре керамики, полученной искровым плазменным спеканием. Она характеризуется мелкозернистой структурой оксида цинка (средний размер зерна 1,3 мкм) с равномерно заполненным межзерненным пространством оксидом висмута. Исследование вольтамперных характеристик в сравнении с керамикой из коммерческого продукта показало перспективность использования плазмодинамического синтеза для получения в едином кратковременном цикле работы (1 мс) исходных композитных материалов в качестве основы для варисторов. Улучшение электрических свойств полученной керамики возможно за счет непосредственного введения в процесс плазмодинамического синтеза других оксидных добавок.

#### **Список литературы:**

1. Xu Z. et al. Effect of a Bi-Cr-O synthetic multi-phase on the microstructure and electrical properties of ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varistor ceramics //Ceramics International. – 2016. – Т. 42. – №. 13. – С. 14350-14354.
2. Lee Y. S., Liao K. S., Tseng T. Y. Microstructure and crystal phases of praseodymium oxides in zinc oxide varistor ceramics //Journal of the American Ceramic Society. – 1996. – Т. 79. – №. 9. – С. 2379-2384.
3. Daneu N., Bernik S., Rečnik A. Inversion boundary induced grain growth in ZnO ceramics: from atomic-scale investigations to microstructural engineering //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2011. – Т. 326. – №. 1. – С. 012003.
4. Sivkov A. et al. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultradispersed zinc oxide with single-crystalline particle structure //Advanced Powder Technology. – 2016. – Т. 27. – №. 4. – С. 1506-1513.
5. Sivkov A. A. et al. Influence of energy parameters on the product of plasmodynamic synthesis of ZnO //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1115. – №. 4. – С. 042063.



## **МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АНТИФРИКЦИОННЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭКСТРУДИРУЕМОЙ МАТРИЦЫ СВМПЭ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

<sup>1,2</sup>С.В. Панин, д.т.н., проф., <sup>1</sup>Л.А.Корниенко, к.ф.-м.н., с.н.с.,  
<sup>1,2</sup>Д.Г. Буслович, аспирант гр. А7-48, <sup>2</sup>Ю.В.Донцов, аспирант гр. А6-48  
<sup>1</sup>ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,  
тел.(3822)-286-904

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-564-114

E-mail: [svp@ispms.tsc.ru](mailto:svp@ispms.tsc.ru)

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает рядом уникальных свойств (износостойкость, низкий коэффициент трения, биоинертность), определяющих его исключительные области промышленного и медицинского применения. СВМПЭ, обладая достаточно высокими характеристиками прочности, а также низким коэффициентом трения, высокой износо- и химической стойкостью в агрессивных средах, находит применение в узлах трения машин и механизмов, а также в медицине для изготовления ортопедических имплантатов [1—3]. Однако СВМПЭ при такой высокой молекулярной массе проявляет чрезвычайно высокую вязкость расплава, что делает его малоприспособным для обработки стандартными для полимеров методами (шнековая экструзия, литье под давлением и др.) [4]. В работе [5] на основе экспериментально полученных результатов показано, что экструдруемые полимер-полимерные композиты на основе сверхвысокомолекулярной матрицы, полученные методом 3D-печати, по совокупности трибомеханических свойств превосходят аналогичные характеристики композитов, полученных компрессионным спеканием.

Стекловолокно широко используют в качестве наполнителя для полимерных композиционных материалов, прежде всего для повышения их механических свойств [6]. В настоящей работе на основе экструдруемой многокомпонентной полимер-полимерной матрицы на основе СВМПЭ изготовлены композиты, содержащие в качестве наполнителя стекловолокно размером 200 мкм. Исследованы триботехнические характеристики экструдруемых, высокопрочных и антифрикционных композитов, полученных 3D-печатью, с целью их использования в узлах трения машин и механизмов, работающих в различных условиях эксплуатации.

В работе использовали порошки СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) с молекулярной массой 4,5 млн и размером отдельных частиц 5 мкм (слабо агломерированных в крупные фрагменты размером до 120-150 мкм). В качестве пластифицирующих добавок – привитый полиэтилен высокой плотности HDPE-g-SMA (молотый гранулят) и порошок полипропилена марки PP21030 (ПТР=3,0 г/10 мин). В качестве наполнителя использованы стекловолокна длиной 200 мкм в количестве 5 вес. %. С целью эффективного совмещения мелких частиц СВМПЭ (отдельные частицы размером менее 20 мкм) с крупными (сотни мкм) частицами пластификатора для реализации 3D-печати, проводили их экструзионное смешение (компаундирование) в двухшнековом экструдере «Rondol» (10 mm Twin Screw Extruders, Microlab). Температура на выходе экструзионной головки составляла  $T = 210$  °С. Далее, гранулы со средним размером 3-5 мм получали путем последующего механического помола экструдата диаметром 3 мм на измельчителе «Rondol».

Объемные заготовки в форме плиток размером 65×70×10 мм (полимерных композитов) изготавливали: а) компрессионным спеканием двухкомпонентных

порошковых смесей при давлении  $P = 10$  МПа и температуре  $T = 200$  °С в лабораторной установке на базе гидравлического пресса «МС-500» (ООО «НПК ТехМаш»), оборудованного размыкаемой кольцевой печью (ООО ИТМ, Томск); скорость охлаждения заготовок без снятия давления составляла 5 °С/мин; б) компрессионным спеканием гранул двухкомпонентной смеси, полученных методом экструзионного смешения в двухшнековом экструдере (см. выше); в) методом FDM (Fused Deposition Modeling) из гранул тех же полимерных компонентов на лабораторном принтере ArmPrint – 2 (НИ ТПУ, Томск) с диаметром сопла 0,4 мм; температура стола, верхней и нижней областей подачи филамента (гранул) составляла  $T = 90, 160$  и  $200$  °С соответственно; скорость послойного нанесения и толщина наносимого слоя материала составляла 20 мм/с и 0,3 мм соответственно. Из полученных всеми тремя способами заготовок с помощью вертикальной фрезы на станке с числовым программным управлением вырезали образцы требуемой формы.

Механические свойства материалов при растяжении определяли на испытательной машине Instron 5582 на образцах в форме двойной лопатки при количестве образцов одного типа не менее 4. Объемный износ образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «шар-по-дису» на трибометре CSEM H2000 (CSEM, Швейцария) при нагрузке  $P = 5$  Н (расчетная величина контактного давления  $P_{\max} = 31,8$  МПа) и скорости скольжения  $V = 0,3$  м/с. Радиус контртела в виде шарика из стали ШХ15 составлял 6 мм.

Показано, что в композитах со стекловолокном, полученных прессованием из гранул, формируется более однородная надмолекулярная структура, прежде всего за счет двухшнекового компаундирования. Это и обеспечивает повышение механических характеристик. Наполнение экструдруемой матрицы «СВМПЭ + 17 вес. % HDPE-g-VTMS + 12 вес. % PP» стекловолокном в объеме 5 вес. % приводит к уменьшению объемного износа и коэффициента трения композитов, сформированных всеми тремя способами. При этом их значения близки друг другу независимо от способа получения композитов.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг., а также поддержана грантом президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ НШ-5875.2018.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку исследований, выполненных в рамках проектов № 19-38-90106 и 18-58-00037.

### Список литературы:

1. Briscoe B.J., Sinha S.K. Tribological applications of polymers and composites: Past, present and future prospects // Elsevier. 2008. P. 1—14.
2. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K.W., Altstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications // Journal of Applied Polymer Science. 2007. 104. P. 4173—4181.
3. Б.А. Люкшин и др. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения. – М. «Наука», 2017. — 311 с.
4. Bala A.S., Wahab M.S., Ahmad M., Soon C.F., and Ramli M.S. Processability and Thermal Properties of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene/Polypropylene Blends // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, No. 8. – p. 5481–5486.
5. S.V. Panin, D.G. Buslovich, L.A. Kornienko, V.O. Alexenko, Yu.V. Dontsov and B. B. Ovechkin. Structure and tribomechanical properties of extrudable ultra-high molecular weight polyethylene composites fabricated by 3D-printing // AIP Conf. Proc. 2141. – p. 040011-1–040011-6 (2019).



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

6. Mimaroglu A, Unal H, Arda T. Friction and wear performance of pure and glass fibre reinforced polyether-imide on polymer and steel counterface materials // *Wear.* – 2007. №262(11-12). – p. 1407-1413.

## Трибологические свойства спечённого сплава (Al-9Si)-40Sn

<sup>1</sup>Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>А.Л. Скоренцев, к.т.н., м.н.с.,

<sup>2</sup>Н.И. Хорошилова, магистрант 2-го курса гр.4АМ81

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск,  
пр. Академический, 2/4

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел. (3822)-286-962

E-mail: [khoshilova96@list.ru](mailto:khoshilova96@list.ru)

**Введение.** Алюминиевые сплавы привлекательны своей высокой удельной прочностью и малым весом, высокой теплопроводностью, хорошей коррозионной стойкостью во многих средах. Однако их химическая инертность обусловлена наличием на поверхности алюминия плотной оксидной плёнки, толщиной несколько нанометров. Плёнка хрупкая, легко разрушается даже при незначительных деформациях, и тогда обнажается «ювенильная» поверхность из химически активных атомов, которые легко вступают в реакцию с атомами окружающей среды.

Это обстоятельство не позволяет применять дешёвые алюминиевые сплавы в узлах трения также широко, как они используются в качестве конструкционных материалов, поскольку при разрушении оксидной плёнки в местах фрикционного контакта между обнажившейся алюминиевой поверхностью и контртелом становится возможным схватывание, сопровождающееся катастрофическим адгезионным износом алюминиевой детали, а иногда и заеданием узла трения. Для того чтобы опасного сближения алюминиевой детали и твёрдого контртела не произошло, между ними должен сохраняться зазор, заполненный масляной плёнкой. В реальности это условие выполнить сложно, особенно при пуске и остановке машин, или в момент скачкообразного увеличения нагрузки на их трансмиссионную систему.

Для предотвращения схватывания, или повышения давления его начала, можно увеличить толщину оксидной плёнки на поверхности алюминиевой детали или покрыть её прочным, неразрушающимся при нагружении слоем из инертного материала. Однако сделать это технически сложно из-за присутствия на поверхности алюминия естественной оксидной плёнки. Для увеличения её толщины необходима диффузия сквозь плёнку либо атомов кислорода, либо атомов алюминия. Однако оксидная плёнка плотная и очень сильно тормозит транзит атомов через неё. Высокая термохимическая стойкость оксидной плёнки не позволяет также устранить её простым способом, чтобы на алюминиевую поверхность можно было нанести износостойкое покрытие.

С учётом сказанного, повысить давление схватывания алюминия с твёрдым контртелом при сухом и граничном трении пытаются за счёт легирования его, например, невзаимодействующим мягким металлом (Bi, Cd, Pb, Sn), или веществом с низким напряжением сдвига (графит, дисульфиды, фториды и т.п.), способным размазаться по поверхности трения тонким слоем, предотвращающим непосредственный контакт чистых поверхностей в случае разрушения поверхностной оксидной плёнки. Из перечисленных материалов наибольшее распространение получили сплавы системы Al-Sn (ГОСТ 14113-78). Было установлено, что чем выше содержание в таких сплавах твёрдой смазки, тем выше давление их схватывания с контртелом [1, 2]. Недостатком сплавов является их низкий предел текучести, поэтому применяются они в основном в виде тонкого (менее 1 мм) антифрикционного покрытия на твёрдых вкладышах.

Другим способом предотвращения схватывания является наполнение алюминия твёрдыми частицами, которые выступают над поверхностью трения и воспринимают давление твёрдого контртела, не давая ему соприкоснуться с поверхностью алюминиевой матрицы. Воспринятую нагрузку частицы через границы раздела передают матрице, которая перераспределяет её по всему объёму композита. Чем больше на поверхности трения таких частиц, тем выше давление начала схватывания между сопряжёнными деталями.

Однако объёмную долю и твёрдых и мягких частиц вынуждены ограничивать из-за присущего им перколяционного эффекта в замкнутом объёме, то есть способности уже при малых концентрациях образовывать непрерывную сетку. В случае непрерывной сетки из мягких частиц становится возможной локализация пластического течения вдоль её ячеек, ресурс пластичности прослоек мягкой фазы при этом быстро исчерпывается и происходит их разрушение. При наличии сетки их твёрдых, но хрупких частиц стыки между ними также легко разрушаются под воздействием растягивающих или сдвигающих напряжений. Образовавшиеся трещины затем быстро сливаются в магистральную, проходящую через весь образец трещину [3].

С учётом сказанного, перед материалововедами стоит задача с одной стороны увеличить концентрацию твёрдой смазки в алюминии, одновременно при этом сохранить связанность между зёрнами матрицы и по возможности повысить их прочность. При этом легирование матрицы упрочняющими её элементами также ограничивают из-за того, что некоторая их часть неизбежно смешивается с расплавом мягкой фазы, упрочняет её и ухудшает смазочные способности. Чтобы избежать такого легирования, нужно перейти от литевого способа получения композитов с мягкими включениями к методам порошковой металлургии, поскольку она подразумевает спекание, в ходе которого частицы твёрдой фазы сохраняются. Следовательно, если они представляют собой легированные порошки, то их состав не изменится, и легирующие их элементы не попадут в объём жидкой фазы.

В случае системы Al-Sn таким безопасным элементом, упрочняющим алюминий и нерастворяющимся в олове, является кремний. Следовательно, если спечь смесь порошков силумина с оловом, то можно получить композит с упрочнённой алюминиевой матрицей и заданным количеством включений твёрдой смазки. Можно надеяться, что такие композиты будут демонстрировать повышенную износостойкость при сухом и граничном трении. Цель настоящей работы – проверить высказанное предположение.

**Материалы и методика эксперимента.** В качестве исходных материалов были взяты порошки сплава Al-9Si и порошки чистого олова в весовой пропорции 60:40 с тем, чтобы получился сплав состава (Al-9Si)-40Sn. Указанный состав был выбран из тех соображений, что ранее композит Al-40Sn показал наилучшее сопротивление изнашиванию при сухом трении [4]. Порошки смешивали в конусном смесителе в течение 4-х часов. Затем полученную смесь прессовали в цилиндрические шайбы диаметром 20 мм и толщиной около 10 мм и помещали в вакуумную печь типа СНВЭ. Спекание проводили при остаточном атмосферном давлении не выше  $10^{-2}$  МПа, по режиму 550 °С (1 час) плюс 570-580 °С, также с выдержкой в течение 1 часа.

С целью определения пористости спечённых образцов измеряли их габариты и вес. При расчёте пористости материала предполагалось, что теоретическая его плотность в результате спекания не меняется ввиду отсутствия взаимной растворимости составляющих композит элементов. Затем часть образцов подвергалась дополнительному уплотнению в закрытом штампе при 250 °С с целью минимизации их остаточной пористости.

Из полученных заготовок вырезались прямоугольные образцы для трибологических испытаний с использованием схемы «палец-диск», где контртелом служила малолегирующая сталь, закалённая до твёрдости 47 НРС. Перед испытаниями поверхности образца и диска шлифовались на наждачной бумаге с убывающим размером

абразивных частиц, а затем полировались на сукне с нанесённой алмазной пастой. После полировки поверхности промывались в ацетоне. Испытания проводили на триботестере «Tribotechnic» (France), позволяющем измерять коэффициент трения в «on-line» режиме. Интенсивность изнашивания материала определяли по формуле  $I_h = \Delta h/L$ , где  $\Delta h$  – укорочение образцов при длине пути трения  $L$ . Точность определения  $I_h$  составила  $\pm 0,02$  [мкм/м]. Скорость скольжения образца по диску  $V_{ск}$  была 0,6 м/с.

**Результаты и их обсуждение.** Поскольку олово является твёрдой смазкой, то его наличие способствовало уплотнению твёрдых порошков силумина до высокой плотности. Так, смесь с 20 вес. % Sn содержала до 12 % пор, тогда как пористость прессовок из смеси с 40 % олова составила уже 7 % при том же давлении прессования. Соответственно менялась пористость прессовок и после их спекания: в первом случае она понизилась только до 5 %, и снизилась до 3 % у образца с 40 вес. % Sn.

Примеры структуры спечённых при 570 и 580 °С образцов приведены на рис. 1. Видно, что после спекания при 570 °С структура имеет ячеистый вид. Ячейки образованы случайным образом, стенки их состоят из относительно узких областей с повышенной концентрацией олова. Внутри ячеек олово также присутствует, но в виде тонких межзёренных прослоек.

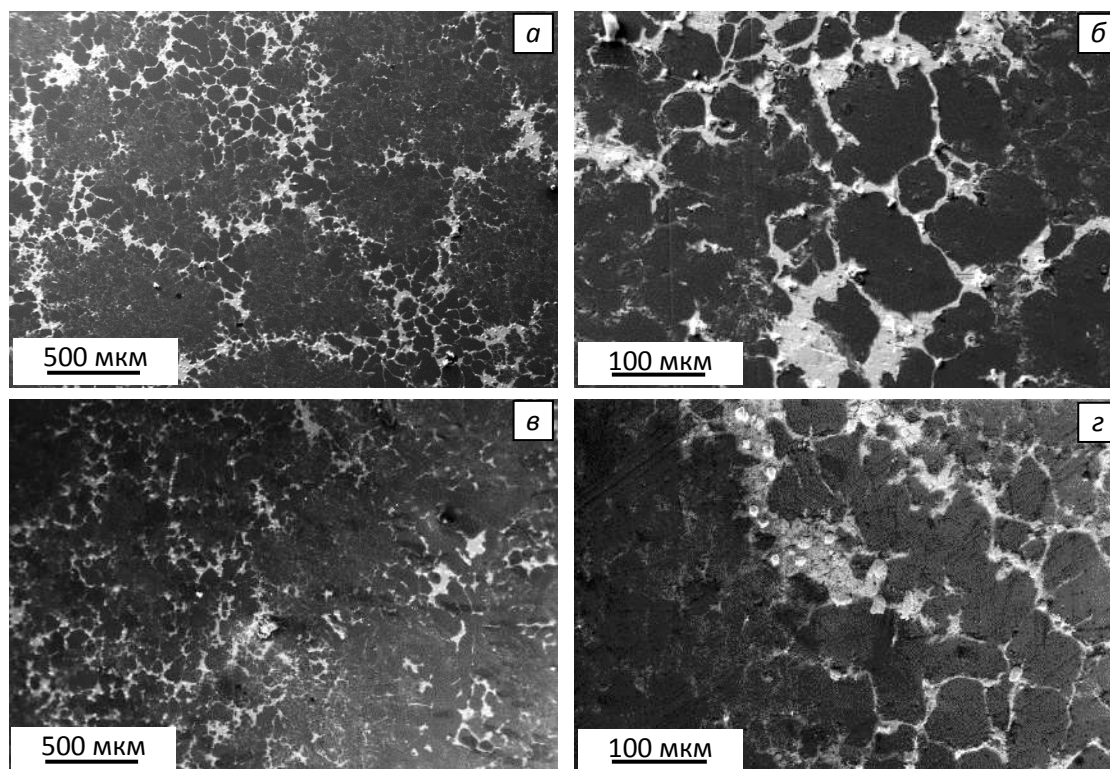


Рис. 1. Структура спечённого сплава (Al-9Si)-40Sn при различных увеличениях. Температура спекания, °С: 570 – а, б и 580 – в, г. Время спекания – 1 час.

То есть, при расплавлении оловянной порошинки жидкость начинает распространяться по прессовке во все стороны. То же самое происходит с соседней оловянной частицы. При соприкосновении жидких фронтов между ними образуется канал с повышенной концентрацией олова, и таким образом формируется структура с ячейками, стенки которых содержат повышенную концентрацию Sn. Далее олово продолжает распространяться уже внутрь ячеек. Одновременно частицы в стенках ячеек начинают расти по механизму перекристаллизации их через жидкую фазу. Это хорошо видно на снимках с высоким разрешением (рис. 1б, г).

Система Al-Si относится к системам эвтектического типа с равновесной концентрацией кремния ~12 вес. %. Поэтому температура спекания порошков сплава Al-9Si не может быть значительно выше эвтектической (577 °С) из-за образования большого количества жидкости и потери спекаемыми образцами формы под действием силы тяжести. С этой точки зрения температура 580 °С является критической, и, как видно из рис. 1в, г, использовать её, ввиду повышения риска расплава образцов из-за случайного скачка температуры или инертности печи, особого смысла нет, поскольку полученная при этом структура мало отличается от предыдущей.

Увеличивать время спекания прессовок также не целесообразно из-за огрубления структуры алюминиевой матрицы и формирования выраженной её бимодальности. Поэтому для устранения остаточной пористости спечённые образцы были доуплотнены в закрытом штампе при давлении, примерно в 3 раза превосходящем их предел упругости. Затем, из уплотнённых заготовок вырезались образцы для трибологических испытаний без смазки. Предварительно образцы притирались к диску при давлении 1 МПа. Притирка считалась законченной после того, как величина коэффициента трения  $\mu$  приобретала стабильное значение. Полученные кривые трения приведены на рис. 2.

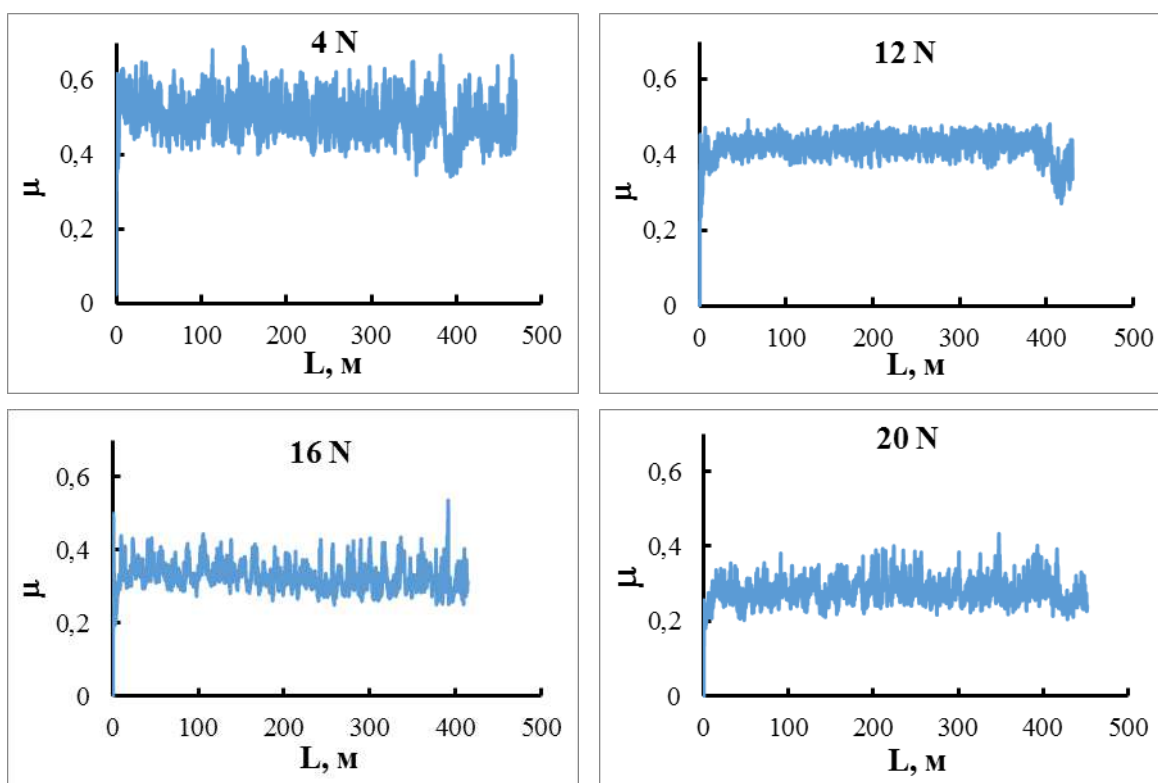


Рис. 2. Кривые зависимости коэффициента трения спеченного (570 °С; 1 час) сплава (Al-9Si)-40Sn от длины пути трения  $L$  при различной нагрузке.  $V_{ск} = 0,6$  м/с.

Из графиков на рис. 2 видно, что текущая величина коэффициента трения в процессе трения нестабильна, и колеблется вокруг некоторого её среднего значения. Амплитуда таких колебаний максимальна при давлении 1 МПа. При этом средняя величина  $\mu$  с повышением удельного давления на поверхности трения и при фиксированной скорости скольжения неуклонно снижается. Так, с повышением нагрузки от 4 Н до 20 Н с шагом в 4 Н средняя величина  $\mu$  последовательно принимала значение 0,50; 0,43; 0,33 и 0,28. Влияние режима деформационной обработки материала перед испытанием на величину  $\mu$  не выявлено, его значение при неизменных внешних условиях у спечённых и горячепрессованных образцов было одинаково (Табл. 1).

Принято считать, что материал является антифрикционным, если его коэффициент трения без смазки не превышает значения 0,3. Следовательно, исследуемый композит (Al-9Si)-40Sn формально нельзя отнести к антифрикционным материалам, несмотря на большое содержание в нём твёрдой смазки. Неизменная величина  $\mu$  указывает, что состав поверхности трения спечённого и доуплотнённого образца примерно одинаков, что естественно, поскольку состав материала при обработке давлением не меняется. Не меняется он и с повышением давления, но коэффициент трения при этом снижается. Причина такого снижения  $\mu$  обусловлена разогревом приповерхностного слоя образца и снижением его напряжения сдвига.

Таблица 1. Влияние давления на интенсивность изнашивания ( $I_h$ ) и величину коэффициента трения ( $\mu$ ) композита (Al-9Si)-40Sn при сухом трении по стали.

Режим обработки	Интенсивность изнашивания, мкм/м				Коэффициент трения			
	Давление, МПа							
	1	3	4	5	1	3	4	5
<b>Спекание</b>	0,25	0,51	0,49	0,59	0,50	0,43	0,33	0,28
<b>Спекание + Уплотнение</b>	0,14	0,34	0,37	0,36	0,51	0,42	0,32	0,26

Ранее на примере сплавов системы Al-Si-Sn было установлено [5, 6], что образование частиц износа в сплавах данного типа происходит путём отслоения сильнодеформированных поверхностных слоёв в основном по прослойкам олова, разделяющих зёрна матрицы. Следовательно, чем меньше толщина приповерхностного деформированного слоя, тем раньше в нём будет достигнута критическая величина деформации. Повышение давления на поверхности трения и разогрев её как раз приводит сосредоточению деформации в слое меньшей толщины из-за менее интенсивного деформационного упрочнения материала. Более того, прослойки олова проводят тепло хуже алюминиевых зёрен, поэтому температура на границе таких прослоек с сильно деформированными алюминиевыми зёрнами выше, чем в самих приповерхностных зёрнах. Сосредоточение деформации в оловянных прослойках приводит к быстрому исчерпанию их резервов пластичности и отслоению вышележащего алюминиевого слоя по границе раздела фаз.

На важную роль деформационного упрочнения поверхностного слоя образца указывает и характер изменения коэффициента трения при притирке (рис. 3).

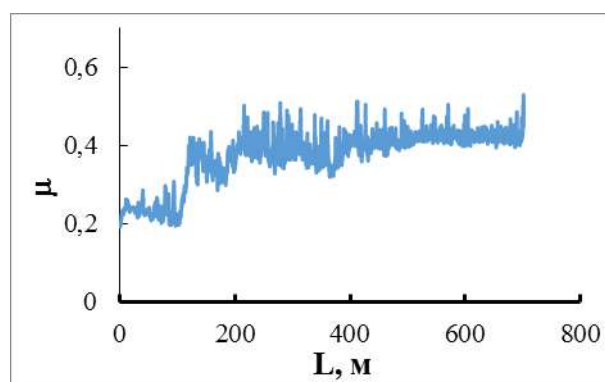


Рис. 3. Изменение величины коэффициента трения в процессе притирки образца (Al-9Si)-40Sn (570 °С; 1 час) при сухом трении по стали.  $V_{ск} = 0,6$  м/с.  $P = 1$  МПа.

Видно, что с увеличением длины пути трения величина  $\mu$  постепенно возрастает и достигает стабильного значения после прохождения образцом не менее 300 м. Если силу

трения композита по стали определяет сопротивление поверхностного слоя сдвигу его внедрёнными неровностями, то рост и последующая стабилизация  $\mu$  означает, что поверхностные слои образца упрочнились до максимально возможной в данных условиях величины напряжения сдвига. Если бы величину коэффициента трения определяли другие факторы, в том числе и рельеф поверхности трения, то притирка, которая приводит обычно к сглаживанию рельефа поверхности, должна была приводить к снижению величины  $\mu$ .

Отметим, что повышение  $\mu$  в нашем случае происходит поэтапно, в промежутке между которыми его величина даже снижается. Видимо это снижение как раз и связано с выравниванием рельефа поверхности трения. Его выравнивание влечёт более глубокое внедрение поверхностных неровностей контртела в образец и новое упрочнение деформируемого слоя. Нагрев деформированной поверхности из-за повышения давления вызывает её некоторое разупрочнение и снижение коэффициента трения.

Отслоение деформированного слоя происходит путём образования и роста трещины. Поэтому наличие на границе отслоения пор способствует более лёгкому образованию трещин и более быстрому их распространению. Уплотнение композита в горячем штампе способствует устранению указанных пор, а также улучшению адгезионной связи между алюминиевой и оловянной фазами. Это автоматически сказывается на износостойкости исследуемого композита в лучшую сторону (Табл. 1). Более того, данное обстоятельство лишней раз подчёркивает, что состояние границ раздела Al и Sn фаз играет очень значительную роль в сопротивлении композитов данной системы истиранию при сухом трении, сопровождающемся интенсивной деформацией приповерхностного слоя образцов.

Из проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Спекание смеси порошков силумина и чистого олова с последующим их уплотнением позволяет получать композиты с упрочнённой алюминиевой матрицей и регулярно расположенными включениями Sn, являющимися источниками твёрдой смазки.
2. Интенсивность изнашивания композита (Al-9Si)-40Sn возрастает при повышении давления на поверхности трения, а его коэффициент трения при этом снижается.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН на 2017-2020 годы (Программа III.23.2).

### Список литературы:

1. Буше Н. А., Горячева И. Г., Корнеев Р. А. Контактное взаимодействие антифрикционных сплавов, содержащих мягкую фазу // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Спецвыпуск. – 2001. – С.35–39.
2. Миронов А. Е., Белов Н. А., Столярова О. О. (ред.). Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения. – М.: Изд. дом МИСиС, 2016. – 222 с.
3. Kostornov A. G., Fushchich O. I. Sintered antifriction materials // Powder metallurgy and metal ceramics. – 2007. – V. 46. – № 9–10. – С.503–512.
4. Rusin N. M., Skorentsev A. L., Gurskih A. V. Wear mechanisms of sintered self-lubricating Al-based composites under dry friction // AIP Conference Proceedings. – 2015. – V. 1683. – 020195-1–020195-4.
5. Sidesh Kumar N. G., Ravindranath V. M., Shiva Shankar G. S. Dry sliding wear behavior of hybrid metal matrix composites // International journal of research in engineering and technology. – 2014. – V. 3. – № 3. – P.554–558.
6. Rusin N. M., Skorentsev A. L. Impact of the structure on mechanical and tribological properties of sintered (Al-12Si)-40Sn alloy // Inorganic materials: Applied research. – 2018. – V. 9. – № 5. – P.916–923.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ИЗ СПЛАВА ХН35ВТЮ-ВД

И.М. Русских, *студент*

М.Г. Закирова; *к.т.н.*

*Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет Механико-технологический факультет, Пермь, Россия*

[russkix-igor@mail.ru](mailto:russkix-igor@mail.ru)

В данной работе исследовались факторы, влияющие на проявлении рекристаллизации на поверхности лопаток из сплава ХН35ВТЮ-ВД. Лопатка компрессора газотурбинного двигателя является деталью ответственного назначения, следовательно, к ней предъявляются особые требования. Маленький балл зерна на поверхности, получающийся при рекристаллизации, приводит к существенному ухудшению комплекса эксплуатационных свойств. Профильная часть и хвостовики лопаток кроме растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и кручения от газового потока испытывают переменные напряжения от вибрационных нагрузок. Кроме того, лопатки турбины работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре, что может вызвать их газовую коррозию. В основном на процесс рекристаллизации в сплавах и сталях влияют перечисленные ниже факторы [1,2]:

1) интенсивность накопленной пластической деформации. Для каждого материала существует некоторая критическая деформация, при которой становится возможным процесс первичной рекристаллизации;

2) температура деформации. Процесс рекристаллизации является термически активируемым и происходит тем быстрее, чем выше температура;

3) степень чистоты материала. Более чистые материалы склонны к рекристаллизации при меньших температурах.

4) исходный размер зерен. Рекристаллизация легче протекает в мелкозернистых материалах, поскольку в них площадь границ на единицу объема больше, чем в крупнозернистых. Местами зародышей новых зерен являются межкристаллитные границы;

5) ориентировка соседних кристаллитов. Подвижность границ зависит от их вида (простые, специальные), а также от угла разориентировки (малоугловые, большеугловые).

Основной целью исследования являлось, установить оптимальный режим термообработки, при котором отсутствует рекристаллизация на поверхности лопатки из сплава ХН35ВТЮ-ВД.

Материалом данного исследования стали лопатки девятой ступени турбовентиляторного двигателя ПС-90, изготовленные из жаропрочного сплава ХН35ВТЮ-ВД. Детали с высотой 50 мм нагревали до температур 960°, 970°, 980°С выдержкой в печи в течении 12 минут при каждой и последующем охлаждении в воде. Для исследования структуры лопатки подвергались шлифовке, полировке и травлению в безводном реактиве Васильева (HCl – 1000 мл, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 50 мл, CuSO<sub>4</sub> – 200 г).

При закалке на температуры 960° рекристаллизации, на поверхности детали, не была обнаружена (Рис.1 А). Зерно имеет третий балл, что является удовлетворительным показателем для жаропрочного сплава. При температуре закалки 970°С и 980 °С на поверхности лопатки рекристаллизационные процессы наблюдали на переходе от пера к корыту. (Рис. 1, Б,В).

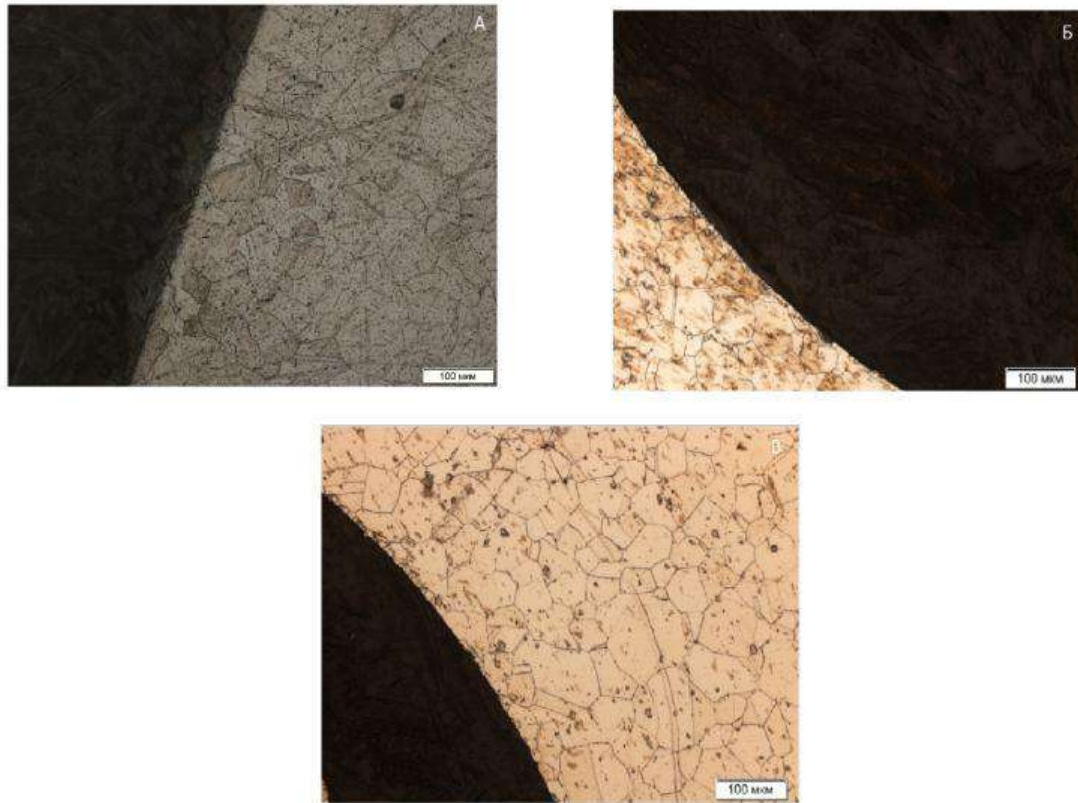


Рис.1 – Структура поверхности сплава ХН35ВТЮ-ВД после термообработки  
А – при температуре 960°С (увеличение x 200); Б – при 970° С (увеличение x200);  
В – при 980°С (увеличение x200).

В результате выполненных работ был установлен режим закалки (970°С , 980°С (Рис.1,Б,В) с последующим охлаждением в воду), приводящий к рекристаллизации на поверхности лопатки в переходной зоне от пера к корыту, что свидетельствует о чувствительности сплава ХН35ВТЮ-ВД к температуре закалки.

#### Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов / Моск. ин-т стали и сплавов. – М., 2005. – 432 с.

## ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА В РЕЗУЛЬТАТЕ ФРИКЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*К.И. Эмурлаев, аспирант*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск,  
пр-т К.Маркса, 20,  
тел. (383) 346 08 43*

E-mail: [emurlaev@corp.nstu.ru](mailto:emurlaev@corp.nstu.ru)

В промышленности широко известны высокомарганцевые стали. Особое место среди них занимает сталь Гадфильда, обладающая высокой износостойкостью и способностью к деформационному упрочнению [1]. Известно, что высокие показатели прочности аустенитных сталей достигаются не за счет термообработки, а путем холодной деформации. При этом, упрочнение повышается за счет формирования дефектной структуры, а также деформационно-индуцированного превращения аустенита в  $\epsilon$ - и  $\alpha'$ -фазу [2]. Следует отметить, что изучению свойств аустенитных высокомарганцевистых сталей посвящено большое число работ, тем не менее детально описанного механизма упрочнения марганцевого аустенита до сих пор нет [3].

Явление деформационного упрочнения также наблюдается при фрикционном воздействии. На рисунке 1 показана поверхность стали 110Г13Л, испытанной в сопряжении с твердосплавным WC-Co индентором в условиях сухого трения скольжения. На продольном сечении образца можно отметить наличие линий скольжения различных систем скольжения, что свидетельствует о достижении высокой степени деформации. Кроме того, наблюдается измельчение и поворот структурных элементов у поверхности трения, а также фрикционный слой, толщина которого около 3 мкм (выше пунктирной линии). Слой на поверхности трения хорошо различим, возможно, он состоит из смеси деформационно-индуцированной фазы, а также продуктов изнашивания. Тем не менее его природа требует дополнительного изучения. Результаты дюрOMETрических испытаний показали, что микротвердость у поверхности трения возрастает от  $420 \pm 45$  до  $576 \pm 106$   $HV_{0.1}$  на глубине 480 мкм и 10 мкм соответственно. Дальнейшее изучение будет посвящено детальному изучению приповерхностных слоев с целью выявления механизмов упрочнения.

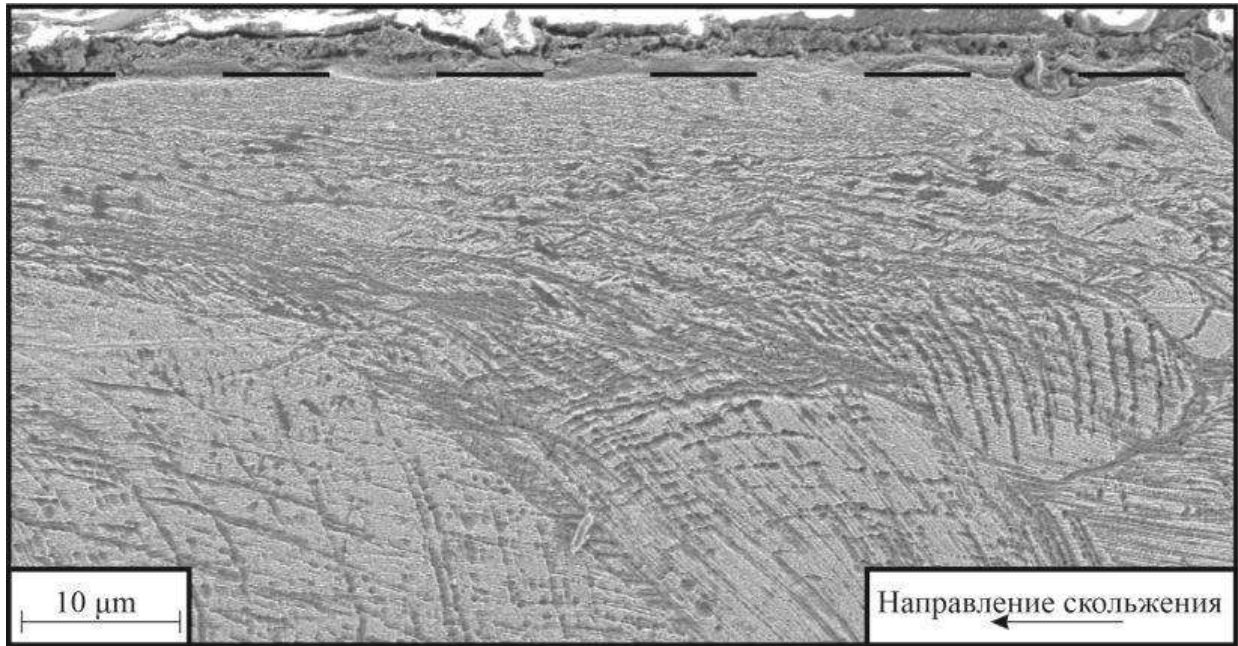


Рис. 1. Микроструктура у поверхности трения стали Гадфильда в продольном сечении.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-48-543022.

### **Список литературы:**

1. Savrai R., Makarov V., Malygina Yu., Rogovaya A., Osintseva L. Improving the strength of the AISI 321 austenitic stainless steel by frictional treatment // *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*. – 2017. Pp. 43-62.
2. Никулина А. А., Смирнов А. И., Великосельская Е. Ю. Структурные изменения стали Гадфильда при холодной деформации // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2013. – № 2. – С. 82-88.
3. Черняк С.С., Ромен Б.М. Высокомарганцевая сталь в драгостроении. – Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1995. – 384 с.

## РАЗРАБОТКА ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ $ZrO_2$

*Цзя Лицзе, М.Е. Егамкулов, И.Н. Шевченко*

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

*тел. (3822)-444-555*

E-mail: [mee6@tpu.ru](mailto:mee6@tpu.ru)

### **Введение**

В последние годы в качестве антикоррозионных средств часто используют наночастицы (НЧ) металлов и их оксиды. Механизмы защиты от коррозии могут быть различны, однако, преимущественно, НЧ способны заполнять дефекты на поверхности материалов, размещаясь в щелях и трещинах, тем самым защищая металл от агрессивных агентов. Их используют как индивидуально, так и в составе растворов традиционных органических ингибиторов. В частности в работах [1, 2] показана возможность использования наночастиц оксида циркония в качестве ингибирующей добавки.

В нашей работе мы предлагаем использовать оксид циркония, полученный методом распылительной сушки. Преимуществом этих порошков является правильная сферическая форма, низкая агломерация и прочные межмолекулярные связи кристаллитов внутри частицы. Частицы использовали в работе в составе раствора органического ингибитора – полиэтиленгликоля. Для проведения эксперимента была использована низколегированная сталь марки У8А, в качестве модельного объекта.

### **Экспериментальные методики**

Порошок оксида циркония получали из суспензии на установке Nanospray Drying В-90, по методике, описанной в работе [3].

Оценку коррозионной устойчивости проводили методом гравиметрии, выдерживая образцы в среде смеси азотной и соляной кислот ( $HNO_3:HCl:H_2O = 20:30:50$ , об.%) в течение различных промежутков времени. Перед испытанием образцы сталей выдерживали в водных растворах ПЭГ – 200 (концентрация от 5 до 20, об.%) с добавлением наночастиц  $ZrO_2$  (концентрация от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $15 \cdot 10^{-2}$  %, масс) и без них в течение 5 минут.

Также для оценки изменения поверхности стали использовали растровую электронную микроскопию (LEO EVO 50 Zeiss, Германия).

### **Результаты и обсуждение**

На первом этапе были определены наиболее эффективные концентрации полиэтиленгликоля (ПЭГ-200) и наночастиц оксида циркония в составе водного раствора ингибитора (рис. 1, 2).

Как видно из рис. 1, увеличение концентрации полиэтиленгликоля эффективно сказывается до 10 %, масс., затем наблюдается увеличение скорости потери массы. ПЭГ – это водорастворимый реагент и в данном случае на поверхности идут два основных процесса: растворение основного металла и переход молекул ПЭГ в раствор. На поверхности могут удерживаться только те молекулы, которые прочно адсорбированы на ней. При насыщении поверхности «лишние» молекулы ПЭГ диффундируют в раствор быстрее. Таким образом, вышеуказанная концентрация ПЭГ является оптимальной.

Кривая, отражающая влияние увеличения концентрации наночастиц оксида циркония на эффективность коррозионной защиты стали имеет иной характер и выходит на насыщение. Это связано с тем, что с определенной концентрации частицы оседают в



растворе ингибитора и не могут адсорбироваться на поверхности. Оптимальной концентрацией является значение 0,1 %, масс.

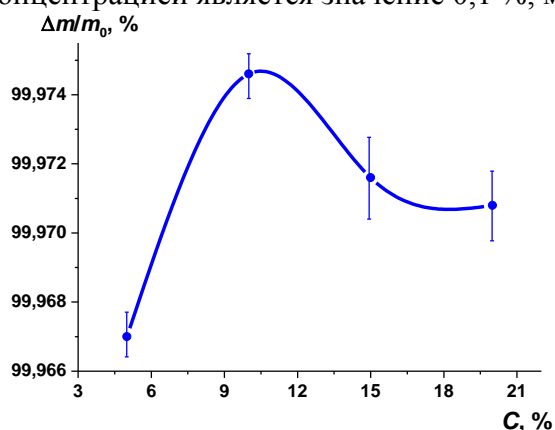


Рис. 1. Изменение массы образцов У8А в смеси кислот ( $t=5$  мин), после обработки в растворе с различной концентрацией ПЭГ-200.

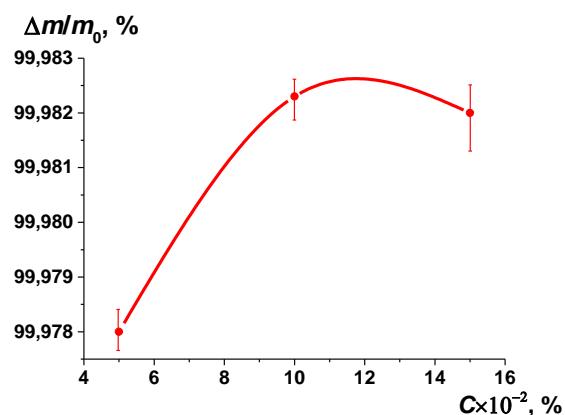


Рис.2. Изменение массы образцов У8А смеси кислот ( $t=5$  мин), после обработки в растворе ПЭГ-200 ( $C = 10$  %, масс), содержащем НЧ  $ZrO_2$  различной концентрации.

На рис. 3 представлены сравнительные кривые потери массы стальных образцов до и после выдержки в растворе ингибитора с оптимальными концентрациями ПЭГ и наночастиц  $ZrO_2$ . Агрессивная среда была использована нами для ускорения процесса коррозии и исключения возможных процессов пассивации, связанных с образованием оксидов.

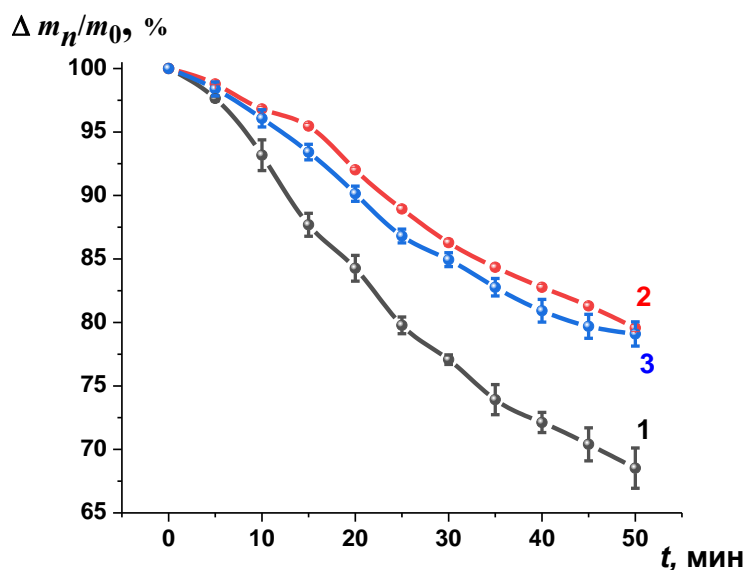


Рис. 3. Потеря массы стали У8А в смеси кислот  $HNO_3-HCl$ :

- 1 – образец до обработки;
- 2 – образец после выдержки в ПЭГ-200;
- 3 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$ .

Видно, что использование ингибиторов эффективно даже в такой агрессивной среде. Сталь без ингибитора значительно быстрее теряет массу (кривая 1). Вместе с тем, добавление наночастиц оксида циркония практически не оказывает влияния на процесс защиты, по сравнению с раствором ПЭГ без НЧ.

Для объяснения этого явления были получены РЭМ изображения образцов (рис. 4). На изображениях *а* и *в*, рис. 4, видны слоистые структуры, это материал самой стали. Светлые частицы, преимущественно овальной формы, это полиэтиленгликоль. Частицы оксида циркония сложно увидеть при таком разрешении микроскопа, однако, хорошо видно, что при их добавлении поверхность металла покрыта более полно.

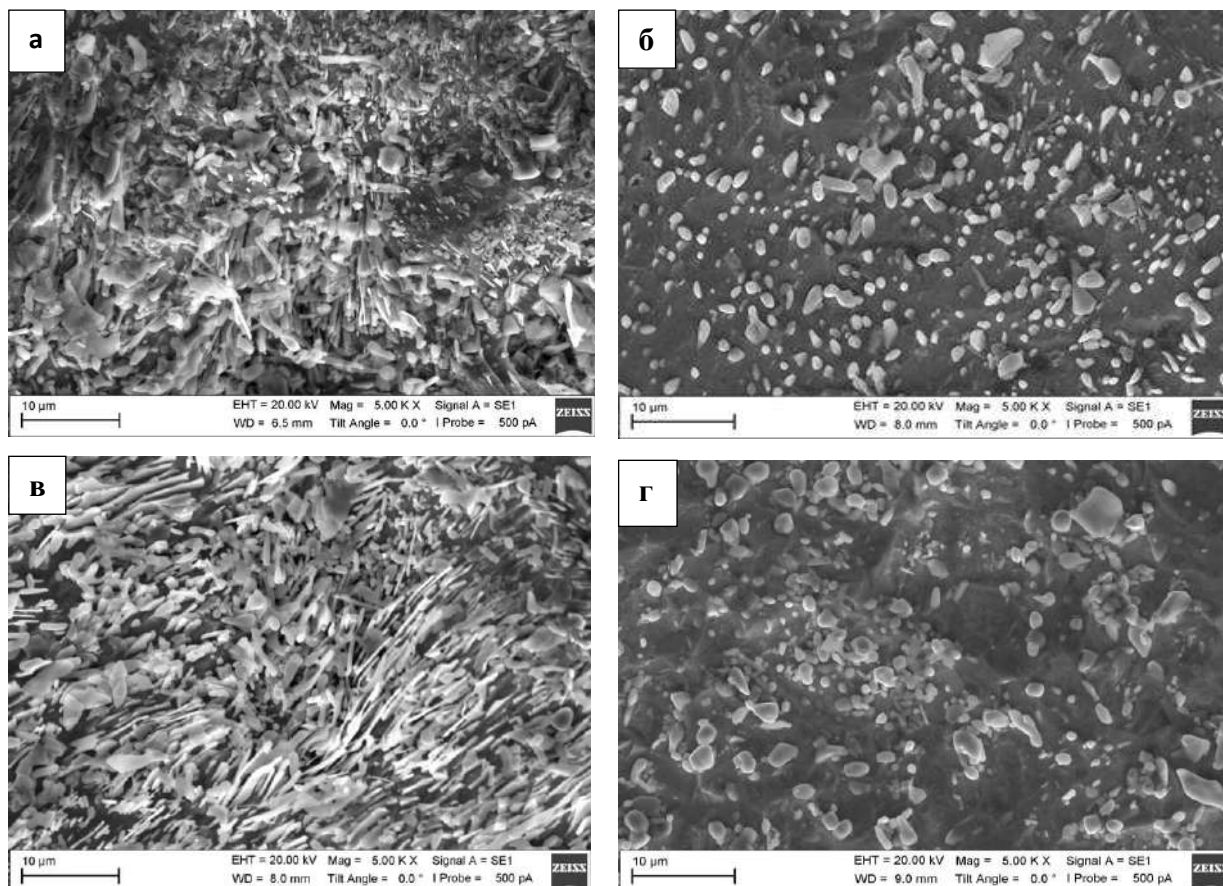


Рисунок 4. РЭМ изображения стали У8А обработанной ПЭГ-200 (*а*, *б*) и ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$  (*в*, *г*), до (*а*, *в*) и после (*б*, *г*) выдержки в смеси кислот.

После выдержки в смеси кислот слоистая структура полностью стравливается и поверхность становится более гладкой (рис. 4, *б*, *г*). При этом частицы ингибитора также диффундируют в раствор. Никакой существенной разницы между поверхностями, выдержанными в растворе ПЭГ с наночастицами (рис. 4, *г*) и без (рис. 4, *б*) не выявлено. Единственное, что можно заметить, сравнивая эти образцы, это укрупнение частиц ингибитора. Возможно, это связано с тем, что молекулы ПЭГ адсорбируются на поверхности частиц  $ZrO_2$ , вызывая агломерацию частиц и ускоряя тем самым их диффузию в раствор.

Для лучшего сцепления НЧ с поверхностью металла и предотвращения вышеописанного явления мы изменили методику нанесения ингибитора. Вместо обычного погружения металла в раствор ПЭГ с наночастицами, сталь протирали мягкой тканью предварительно смоченной в растворе ингибитора. Результаты представлены на рис. 5.

Видно, что предложенная методика оказалась эффективной. Добавление наночастиц в данном случае снижает скорость растворения металла (кривая 3, рис. 5), что особенно заметно после 20 минут проведения процесса.

Таким образом, предложенные растворы ПЭГ-200 с добавлением наночастиц оксида



циркония могут быть использованы в качестве недорогого, имеющего простую технологию получения, ингибитора электрохимической коррозии низколегированных сталей.

### Выводы

1. Установлены оптимальные концентрации эффективных компонентов ингибитора коррозии стали У8А:  $C$  (ПЭГ–200) = 10 %, масс;  $C$  (НЧ  $ZrO_2$ ) = 0,1 %, масс.

2. Показано, что применение ингибитора позволяет увеличить коррозионную устойчивость стали У8А на 35,6 % в случае использования ПЭГ и на 33,4 % в случае использования раствора ПЭГ с наночастицами оксида циркония при нанесении ингибитора «методом погружения».

3. Показано, что применение ингибитора позволяет увеличить коррозионную устойчивость стали У8А на 15,85 % в случае использования ПЭГ и на 37,2 % в случае использования раствора ПЭГ с наночастицами оксида циркония при нанесении ингибитора «методики протирки».

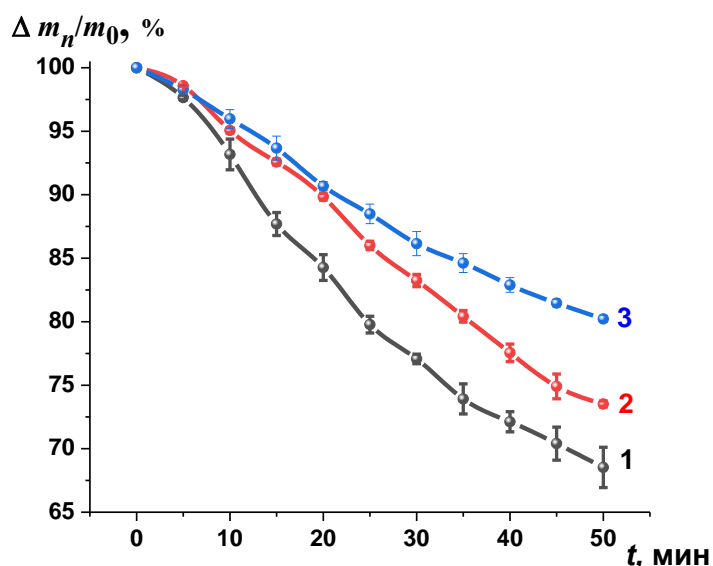


Рис.5. Потеря массы стали У8А в смеси кислот  $HNO_3-HCl$ :

- 1 – образец до обработки;
- 2 – образец после выдержки в ПЭГ-200,
- 3 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$

### Список литературы:

1. Fatimah S., Kamil M.P., Know J.H., Kaseem M., Ko Y.G. Dual incorporation of  $SiO_2$  and  $ZrO_2$  nanoparticles into the oxide layer on 6061 Al alloy via plasma electrolytic oxidation: Coating structure and corrosion properties // Journal of Alloys and Compounds. — 2017. — Vol. 707. — P. 358-364.
2. Elbasuney Sh., Gobara M., Zorinyan M., Maraden A., Naeem I. The significant role of stabilized colloidal  $ZrO_2$  nanoparticles for corrosion protection of AA2024 // Environment Nanotechnology, Monitoring & Management. — 2019. — Vol. 12. 100242. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100242>
3. Lyamina. G., Pella, A., Khasanov, O., Petyukevich, M., Vaitulevich, E. Synthesis of  $Al_2O_3-ZrO_2$  powders from differently concentrated suspensions with a spray drying technique AIP Conference Proceedings. — 2016. — Vol. 1772: Prospects of Fundamental Sciences Development (PFSD-2016). — [020011, 6 p.]. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4964533> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35022>

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА 1580 ПОСЛЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКИ

*А.Н. Юрченко, м.н.с.,  
Карташев М.Ф., аспирант, Гребенкин Р.Д., студент гр. МТО-18-1м  
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990,  
г. Пермь, Комсомольский пр.,29,  
тел. 89197086037  
E-mail: [repikhs@gmail.com](mailto:repikhs@gmail.com)*

Одной из наиболее актуальных проблем научно-технического прогресса являются аддитивные технологии. Особое значение в этом направлении имеют алюминиевые сплавы. Одним из современных перспективных сплавов является экономнолегированный сплав 1580. Особенность данного сплава заключается в легировании скандием и цирконием. Подобные сплавы алюминия являются термически не упрочняемыми и имеющие более высокие прочностные характеристики за счет легирования скандием [1]. Цирконий является компонентом, который растворяется с путем замещения атомов скандия [2]. Использование циркония заключается в его особенности полностью растворяться в интерметаллиде  $Al_3Sc$ . Благодаря частичной замене скандия на цирконий, алюминиевые сплавы обеспечивают комплекс необходимых свойств при относительно недорогом легировании [3]. Однако, в первую очередь после использования новой технологии сварки или наплавки, а также применения последующей термической обработки необходимо исследовать структуру. В связи с этим целью данной работы является исследование структуры, полученной после многослойной наплавки алюминиевого сплава 1580.

В качестве исследуемого материала выбран сплав 1580. Химический состав сплава приведён в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемого сплава.

Содержание элементов, масс. %										
Al	Mg	Mn	Zn	Fe	Cr	Zr	Cu	S	Si	Sc
основа	5,78	0,5	0,2	0,19	0,2	0,13	0,03	0,14	0,03	0,06

Многослойное наплавление проводили с помощью СМТ-технологии. Термическую обработку проводили в лабораторной печи с окислительной атмосферой типа «Накал» при температурах 300, 330, 360 и 390 °С с выдержками 1, 3 и 6 часов при каждой температуре.

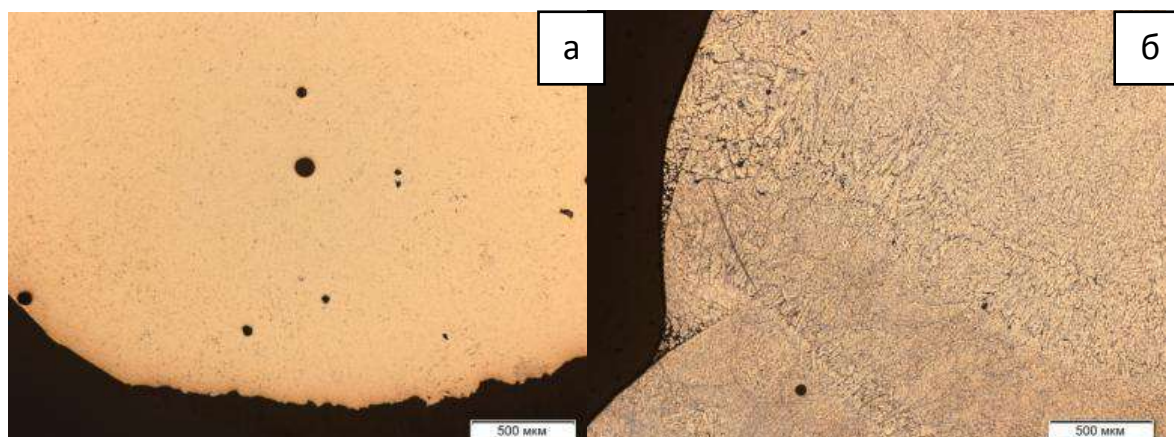


Рис. 1. Структура сплава 1580: а - исходный образец увеличение; б - 300<sup>0</sup>С, 6 часов

После проведения ТО проводилась заливка образцов в Citopress-10 по 3-4 образца. Изготовление шлифов проводилось на шлифовальном оборудовании StruersTegramin-30. Приготовление микрошлифов проводили по стандартной методике на отрезанных с краю образцах из целых заготовок. В качестве травителя использовали реактив Keller (1 мл HF + 1,6 мл HCl + 2,5 мл HNO<sub>3</sub> + 95 мл дистиллированной воды). Микроструктуру образцов изучали до и после травления на световом инвертированном микроскопе Olympus GX 51, оснащенный программным комплексом Olympus Stream Motion 1.8, при увеличениях от 50 до 1000 крат.

На рисунке 1 представлена структура образца сплава 1580 в исходном состоянии. На поверхности образцов, как в исходном, так и в термически обработанном состоянии присутствуют микропоры.

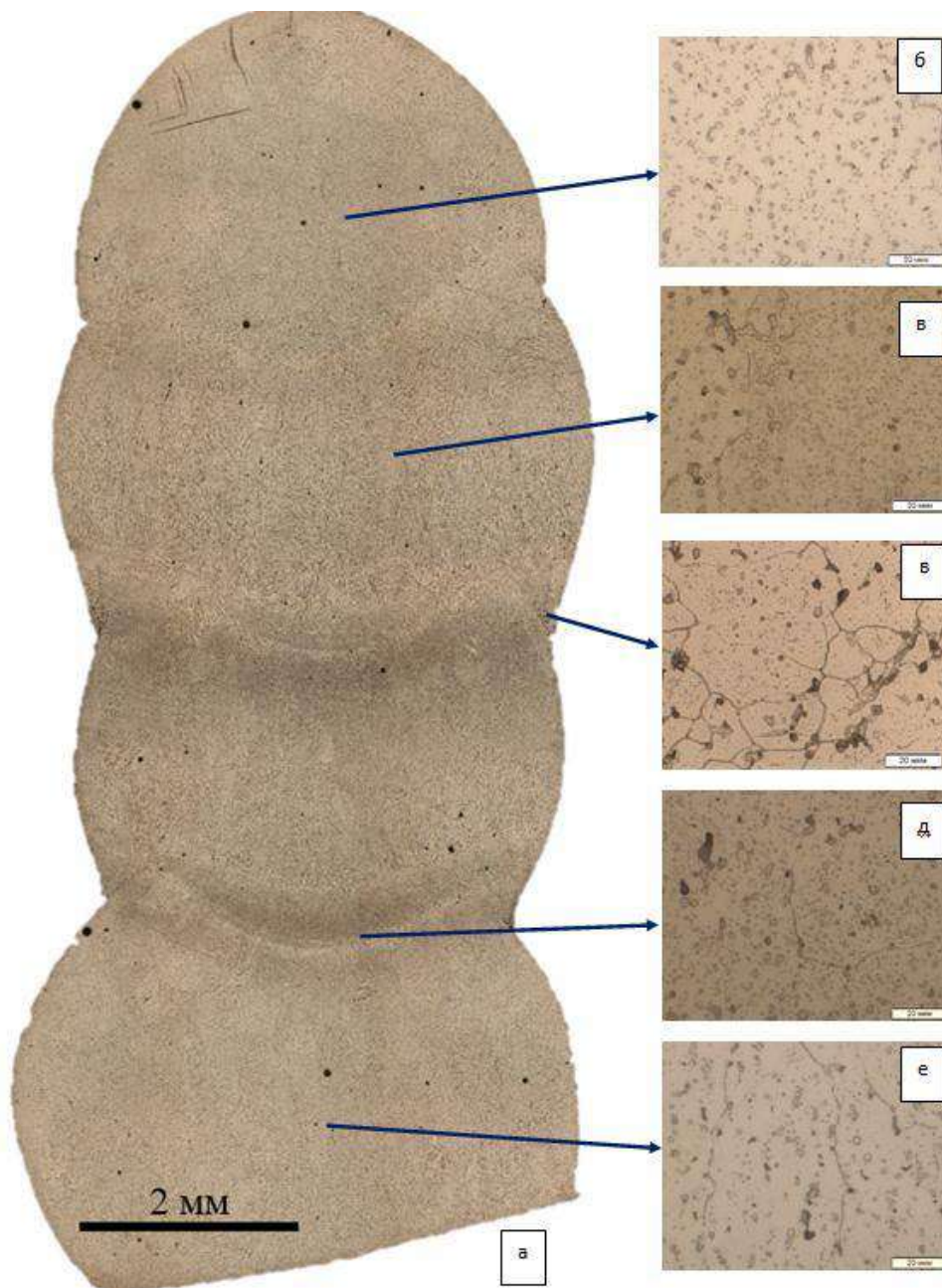


Рис. 2. Структура алюминиевого сплава 1580 после отжига при температуре 390 °С в течение 3 часов: а – макроструктура; б-д – микроструктура в соответствующих местах.

В центральной части (рис. 2, в-д) наплавки, в отличие от верхней (рис. 2, е) и нижней (рис. 2, б) частей, наблюдается повышенная травимость, которая связана с многократным нагревом металла предыдущих слоев [4], что также замечено на всех остальных образцах. Кроме того, в работе [4] отмечается эффект усиления направленного роста дендритов в тех областях, где травимость выше, что подтверждается настоящими исследованиями. Термическое циклирование в центральной части также приводит к усиленному образованию фаз типа  $Al_3(Sc_{1-x},Zr_x)$ . Повышение температуры отжига от 300 до 390 °С или времени выдержки от 1 часа до 6 часов сопровождается увеличением доли фаз типа  $Al_3(Sc_{1-x},Zr_x)$  и их коагуляцией.

На стыке слоев (рис. 1, б и 2, в) происходит активное выделение первичной  $\beta$ -фазы ( $Al_3Mg_2$ ), которая располагается по границам зерен. Кроме того, возможно образование интерметаллидов  $Al_3(Sc,Zr)$  или  $Al_3Sc$ .

В результате изучения структуры сплава 1580 выявлено, что СМТ-технология и отжиг сплава приводит к получению дендритной структуры, состоящей из фаз типа  $Al_3(Sc_{1-x},Zr_x)$ ,  $Al_3Mg_2$ ,  $Al_3(Sc,Zr)$  или  $Al_3Sc$ , что должно привести к повышению прочностных характеристик.

### Список литературы

1. Бронз А.В. Сплав 1570с — материал для герметичных конструкций перспективных многофазовых изделий РКК «энергия» / А.В. Бронз, В.И. Ефремов, А.Д. Плотников [и др.] // Космическая техника и технологии. 2014. №4 (7). С.63-67.
2. Камардинкин А. Н. Изометрические сечения системы Al -Sc -Zr при 550 и 600 °С в области, богатой алюминием // А.Н. Камардинкин, Т. В. Добаткина, Т.Д. Ростова // Металлы. 1991. № 2. С. 214 -216.
3. Захаров В.В. Некоторые принципы легирования алюминиевых сплавов скандием и цирконием при использовании слитковой технологии производства деформированных полуфабрикатов / В.В. Захаров, И.А. Фисенко // Металловедение и термическая обработка металлов. 2019 №4. С. 14-19.
4. Щицын Ю.Д. Использование плазменной наплавки для аддитивного формирования заготовок из алюминиевых сплавов / Ю.Д. Щицын, Е.А. Кривоносова, С.Д. Неулыбин [и др.] // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2019. Т. 21. № 2. С. 63-72.



## МИКРОСТРУКТУРА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20 ПОСЛЕ НАПЛАВКИ ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ

*А.Н. Юрченко, м.н.с.,  
Н.С. Менлышева, студент гр. МТО-16-16*  
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990,  
г.Пермь, Комсомольский пр.,29,  
тел.(3422)-198-067  
E-mail: [nadezhda.menlysheva@yandex.ru](mailto:nadezhda.menlysheva@yandex.ru)

Титан и его сплавы нашли широкое применение в технике ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности, малой плотности и прочих полезных свойств. Важным критерием в годности детали является структура, которую необходимо контролировать после термического воздействия. Одним из способов обработки материалов является дуговая наплавка в защитной атмосфере. Этот способ используется для ремонтных работ эксплуатируемых деталей, а также в динамично развивающихся аддитивных технологиях. Поэтому это легло в основу настоящего исследования.

Исследуемым материалом был выбран титановый сплав ВТ20. Проведен эксперимент по наплавке с помощью дуговой наплавки в защитной атмосфере на деформированную подложку из такого же сплава при различных режимах. Из сплава ВТ-20 была изготовлена подложка и проводилась многослойная наплавка на оборудование для многослойной дуговой наплавки в камере с контролируемой атмосферой типа ВКС-1. Источник питания: Неон ВД-201 АД. Сварочный ток – 90А. Диаметр проволоки ВТ-20 - 1.6 мм. В итоге была получена заготовка с 30 слоями (рис. 1).

Так же были получены образцы с меньшим количеством слоев и с помощью различных режимов: № 1 ток – 90 А, импульсный режим 30 Гц, с капельным переносом металла, без расплавления основы; № 2: ток – 90 А, импульсный режим 30 Гц, классическая наплавка с непрерывной подачей проволоки и расплавление основы; № 3: ток – 90 А, импульсный режим 30 Гц, классическая наплавка с прерывистой подачей проволоки и расплавление основы; № 4: ток – 90 А, импульсный режим 300 Гц, классическая наплавка с прерывистой подачей проволоки и расплавление основы. После применения каждого режима были получены заготовки высотой в 3 слоя.

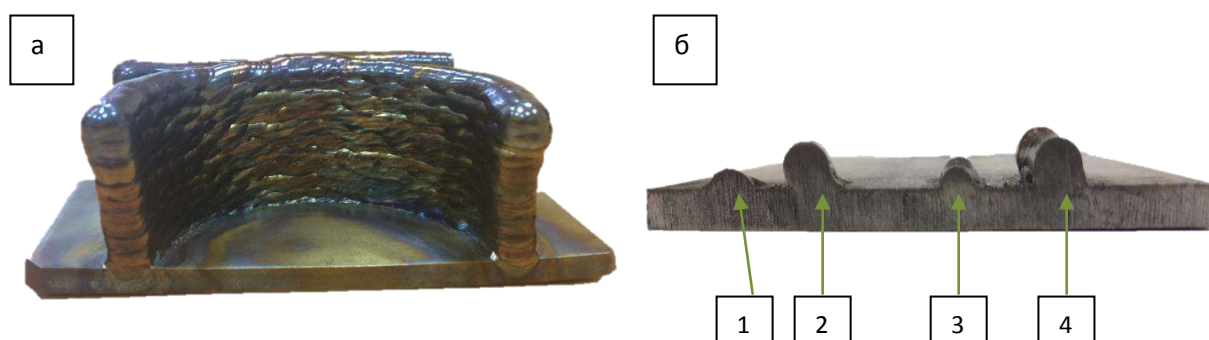


Рисунок 1. Общий вид выращенных образцов после многослойной наплавки на титановую подложку: а – 30 слоев; б – 3 слоя. Номерами показаны режим наплавки.

Анализ структуры титанового сплава проводили с использованием светового микроскопа Olympus GX-51, оснащенный программным комплексом Olympus Stream Motion 1.8. Травление проводили методом погружения в реактиве, состоящем из: 10 см<sup>3</sup> фтористоводородной кислоты (ГОСТ 10484-78), 10 см<sup>3</sup> азотной кислоты (ГОСТ 4461-77) и

80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Измерение микротвердости подложки и наплавки проводили на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50.

В результате наплавки происходит тепловое воздействие по всей толщине наплавки (рис. 2). В процессе нагрева следы деформации исчезают по всей толщине подложки и формируется структура, состоящая из бывших зерен  $\beta$ -фазы с  $\alpha$ -оторочкой по границам зерен (рис. 2, а и 2, в). Внутри зерен располагаются произвольно направленные, с различным количеством, в большей и меньшей степени выраженные колонии  $\alpha$ -фазы (рис. 2, в). Форма бывших зерен  $\beta$ -фазы близка к равноосной, а средний размер зерен находится в диапазоне от 200 до 800 мкм. Максимальный размер зерна наблюдается вблизи зоны сплавления, а минимальный – у края подложки. Размер колоний  $\alpha$ -фазы изменяется от 10 до 250 мкм.

Микротвердость находится на уровне 250-400 НV. Значение микротвердости зависит от размера  $\alpha$ -пластин, толщина которых варьируется от 1-2 до 8-9 мкм. Повышению уровня микротвердости способствует уменьшение толщины  $\alpha$ -пластин, а снижению уровня микротвердости – увеличение её толщины.

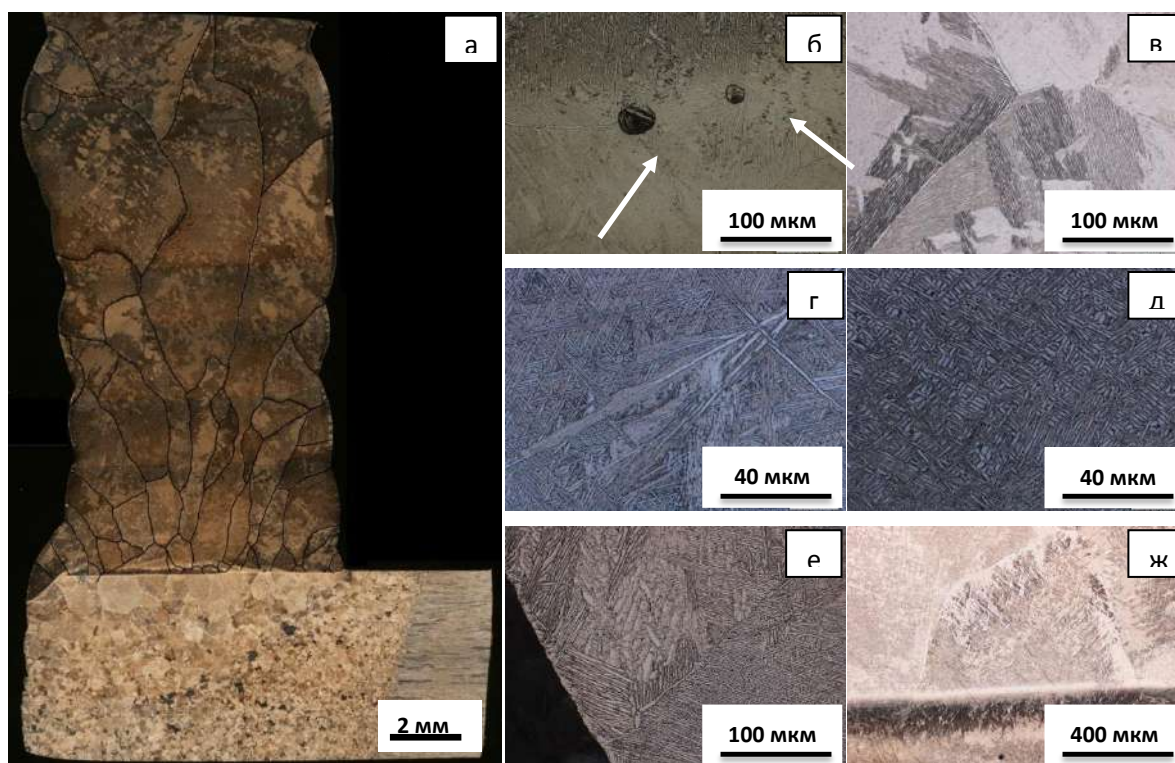


Рисунок 2. Микроструктура титанового сплава ВТ-20: а – панорама подложки и слоев; б – микропоры вблизи зоны сплавления; в –  $\alpha$ -оторочка и различно ориентированные колонии  $\alpha$ -фазы; г – структурная неоднородность; д – типичная структура наплавки; е – структура вблизи края наплавки; ж – прорастание зерна от наплавки к подложке.

Стрелками показаны микропоры.

В образце с количеством наплавки в 30 слоёв в зоне сплавления обнаружено некоторое количество микропор (рис. 2, б) диаметром от 20 до 70 мкм. В отличие от подложки в наплавленных слоях зерна имеют преимущественно вытянутую форму (рис. 2, а). Вблизи зоны сплавления длина зерен находится на уровне 0,275 – 3,0 мм, а ширина – 0,275 -1,0 мм. Увеличение количества слоев наплавки приводит к образованию зерен заметно бóльших размеров, которые достигают 10 мм в длину и 4 мм в ширину. Кроме того, зерна прорастают через слои и вытягиваются в сторону увеличения количества слоев (рис. 2, а). Периодически встречаются полосы структурной неоднородности, распространяющиеся на

всю ширину наплавки (рис. 2, а и 2, г). Появление полос со структурной неоднородностью обусловлено, по-видимому, различием в скорости кристаллизации литого титанового сплава. Для литого состояния в данном случае является типичным строение  $\alpha$ -фазы в виде корзиночного плетения (рис. 2, д-е). В зоне сплавления наблюдается прорастание зерна из наплавки в подложку (рис. 2, ж).

Количество дефектов (микропор) в зоне сплавления увеличивается (рис. 3 д), по сравнению с образцом, который состоит из 30 слоев. Наплавка 3-х слоев по режимам 1, 2 и 3 приводит к получению подобной структуры, как в заготовке из 30 слоев. Существенное отличие наблюдается только в структуре образца с 3 слоями, наплавленных по режиму 4. В данном случае наблюдаются зерна неправильной формы (рис.3 в, г ), а границы  $\beta$ -зерен имеют зубчатое строение (рис. 3 б). Помимо этого были обнаружены гидриды [1], представленные в виде тонких пластин (рис 3 б). Поскольку Ti активно взаимодействует со всеми газами, составляющими атмосферу и растворимость водорода в титане при обычной температуре очень мала, то уже при весьма малых концентрациях водорода в структуре образуются гидриды, которые являются причиной водородной хрупкости.

В итоге для получения качественного изделия с благоприятной структуры с минимальным количеством и размером дефектов можно использовать режимы наплавки, с помощью которых проводили выращивание заготовки в 30 слоев или в 3 слоя по режиму № 2.

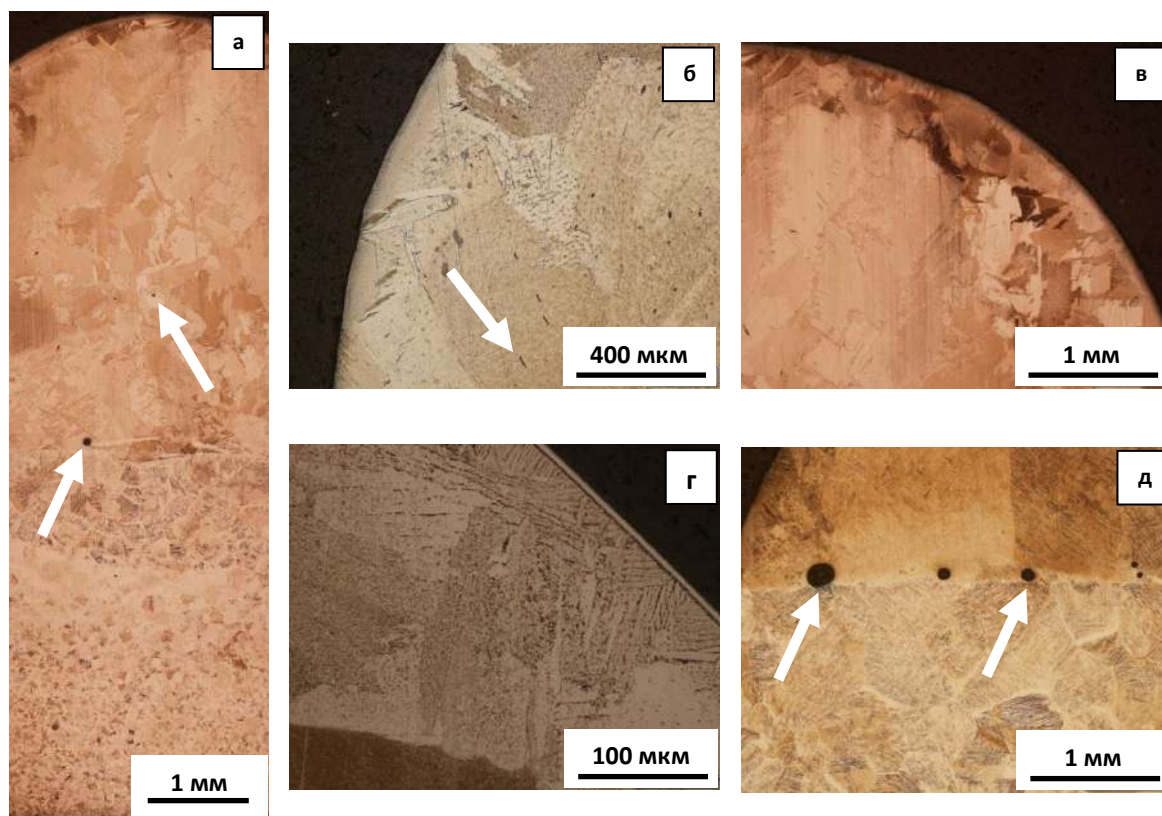


Рис. 3. Микроструктура титанового сплава VT-20: а-г – режим №4, д – режим №1; а – панорама подложки и слоев. Стрелками показаны микропоры (а, д) и гидриды (б).

#### Список литературы:

1. Аношкин Н.Ф., Бочвар Г.А., Ливанов В.А., Полькин И.С., Моисеев В.Н. Металлография титановых сплавов. М: Металлургия, 1980. 464 с.



## ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ 10X2Г2С2МФ-Ш И 30X2Г2С2МФ-Ш НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР

*Юрченко А. Н., Подузов Д. П., Уткин Е. С.*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь,  
Россия, [aleksmto@gmail.com](mailto:aleksmto@gmail.com)

На сегодняшний день развивающаяся нефтяная промышленность диктует свои правила к качеству и механическим характеристикам бурильных труб. Использование классических сталей таких как 40ХГМА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, а так же их зарубежных аналогов: 42CrMo4V, 4140 (4145), 34CrNiMo тормозят дальнейшее развитие данной сферы. Это вызвано, в первую очередь, с дороговизной никельсодержащих сталей 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, и недостаточными механическими свойствами, а именно прокаливаемостью, стали 40ХГМА.

В попытке удешевить добычу нефти и достичь желаемых механических значений были разработаны экономнолегированные кремнийсодержащие стали системы легирования X2Г2С2МФ с содержанием углерода 0,1 и 0,3% соответственно.

Одной из важнейших характеристик для нефтяных труб является ударная вязкость, повышение которой возможно при помощи термической обработки стали из межкритического интервала температур (МКИ). Данный способ термической обработки так же развивается в современной металлургии.

Таким образом, целью данной работы является исследование влияния исходной структуры сталей 10X2Г2С2МФ-Ш и 30X2Г2С2МФ-Ш на механические свойства после нагрева в межкритический интервал температур.

Материалом для исследований были выбраны новые стали 10X2Г2С2МФ-Ш и 30X2Г2С2МФ-Ш, отличительной чертой которых является замена дорогостоящего никеля на более дешёвый кремний. Химический состав исследуемых сталей приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сталей 10X2Г2С2МФ-Ш и 30X2Г2С2МФ-Ш

Сталь	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Cu
10X2Г2С2МФ-Ш	0.10	1.90	1.74	0.008	0.010	2.21	0.25	0.35	0.08	0.009	0.17
30X2Г2С2МФ-Ш	0.29	2.02	1.75	0.009	0.013	2.01	0.25	0.31	0.08	0.008	0.16

Исследования проводили на заготовках бурильных труб УБТС 229 сечением от 203 до 254мм и длиной до 9450 мм. Заготовки изготовлены методом радиальнойковки при помощи радиально-ковочной машины SXP - 55 из блюмов сечением 540x450мм.

Для лабораторных исследований от тела заготовок были отобраны продольные образцы. Вырезку образцов проводили в соответствии с требованием ГОСТ 8479-90 на расстоянии 1/3 радиуса от поверхности и с дополнительным отбросом, исключая торцевую закалку.

Термическую обработку выполняли на продольных образцах сечением 20x20 мм и длиной 100 мм в лабораторных печах ЦЗЛ ПАО "Мотовилихинские заводы". Использовали электрические камерные печи с окислительной атмосферой СНОЛ 2.7-1.7-4/1.4.

Оценку химического состава образцов выплавленных сталей проводили на спектрометре "Spektrо" (модель SpektromaxxM) и газоанализаторе "ELTRA" модель ONH 2000.

Термическую обработку сталей проводили по режимам, которые представлены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2. Режим термической обработки для стали 10X2Г2С2МФ-Ш

№ режима термической обработки	Описание режима термической обработки
1	Охлаждение на воздухе с ковочного нагрева
2	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=780^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
3	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе.
4	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=820^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе.
5	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=840^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
6	Охлаждение в печи с ковочного нагрева
7	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=780^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
8	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
9	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=820^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
10	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=840^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе

Таблица 3. Режим термической обработки для стали 30X2Г2С2МФ-Ш

№ режима термической обработки	Описание режима термической обработки
1	Охлаждение на воздухе с ковочного нагрева
2	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=760^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
3	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=780^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
4	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
5	Режим 1 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=820^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут охлаждение на воздухе.
6	Охлаждение в печи с ковочного нагрева
7	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=760^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
8	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=780^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
9	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе
10	Режим 6 + Посадка в печь $T=600^{\circ}\text{C}$ , нагрев до $T=820^{\circ}\text{C}$ выдержка 60 минут, охлаждение на воздухе

Механические испытания на одноосное растяжение проводили на универсальной испытательной разрывной машине Inspekt 250, модель EDC2/900W, усилие 250 кН. Характеристики прочности (предел прочности, предел текучести) и пластичности

(относительное удлинение и относительное сужение) определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 1497 на пятикратных цилиндрических образцах типа III.

Испытания на ударный изгиб проводили на маятниковом копре модели 2130МК-0,3, (ИО 5003-0,3-11) с усилием 300 Дж на образцах с V-образным надрезом.

Металлографические исследования проводили на половинках ударных образцов в поперечном направлении. Травление выполняли в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Структуру изучали с помощью светового инвертированного микроскопа "Olimpus GX-51" при увеличении от 100 до 1000.

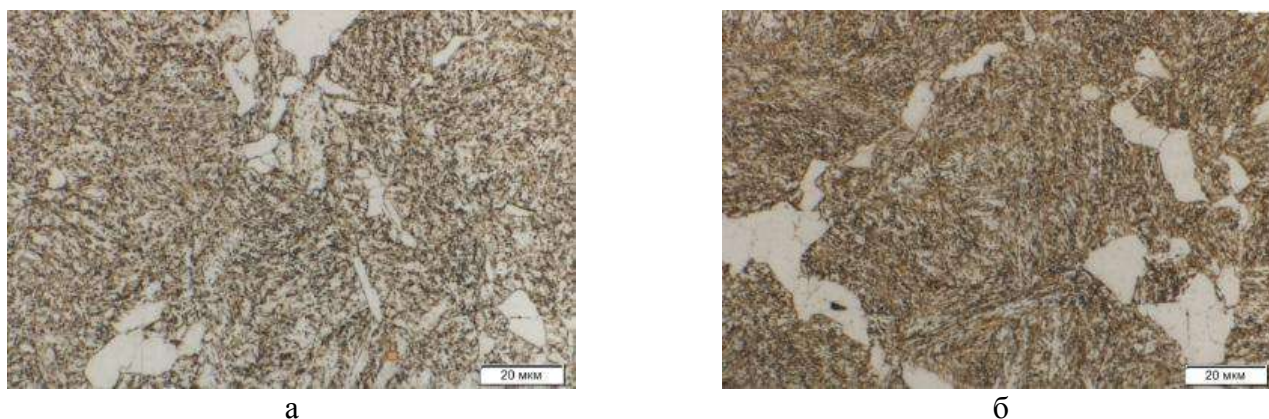


Рисунок 1 – Структура стали 10X2Г2С2МФ-Ш после термической обработки по режиму 1 (а) и по режиму 6 (б)

Исходная структура стали 10X2Г2С2МФ-Ш состоит из верхнего бейнита и избыточного феррита, однако, после термической обработки по режиму 6 (отжиг) (рис. 1б) наблюдается более крупные включения феррита, по сравнению с нормализованной сталью (режим 1 рис. 1а).

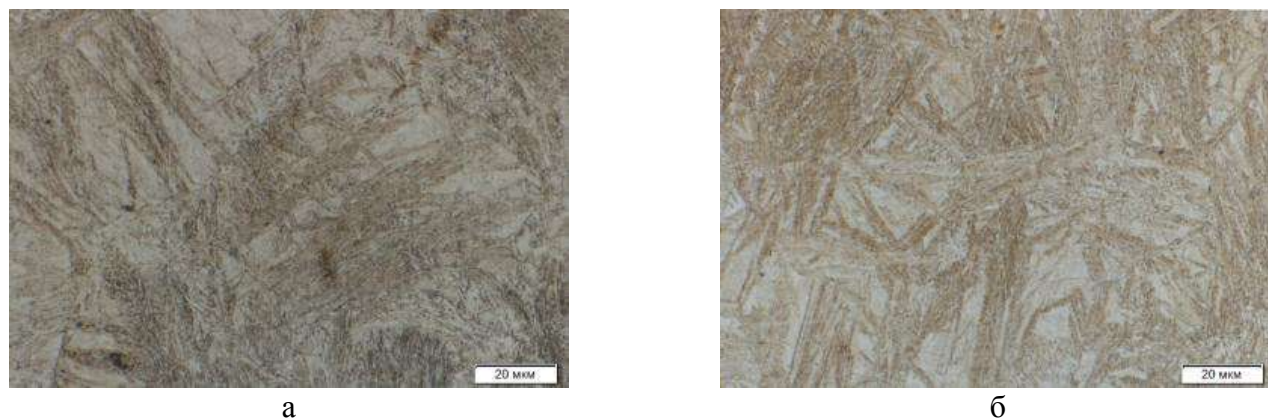


Рисунок 2 – Структура стали 30X2Г2С2МФ-Ш после термической обработки по режиму 1 (а) и по режиму 6 (б)

Исходная структура стали 30X2Г2С2МФ-Ш после нормализации (рис.2а) и после отжига (рис.2б) состоит из мартенсита, верхнего бейнита, прослоек феррита, сформировавшегося в результате нагрева, и остаточного аустенита. После охлаждения с печью структура стали значительно крупнее, чем после охлаждения на воздухе с идентичной температуры выдержки.

Из полученных результатов, приведённых в таблице 4, видно, что нагрев обеих сталей в нижние температуры МКИ, т.е. обработка по режимам 2 и 7 ведёт к значительному снижению предела прочности, по сравнению с исходными структурами.

Следует отметить, что в сталях 10X2Г2С2МФ-Ш и 30X2Г2С2МФ-Ш характеристики прочности всегда выше в том случае, когда стали являются исходно отожжёнными, т. е. после охлаждения с печи. Возможно, это связано с образованием высокоуглеродистых мартенсит/аустенитных (М/А) участков, которые незначительно, а в некоторых случаях существенно (режим 1 и 6 для стали 30X2Г2С2МФ-Ш) повышают прочностные характеристики.

Таблица 4 – Механические свойства сталей после проведения термической обработки

Сталь	$\sigma_{0,2} \geq 689 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{в}} \geq 931 \text{ МПа}$	$\delta \geq 13\%$	$\varphi, \%$	$\text{KCV} \geq 600 \text{ КД ж/м}^2$	НВ	Режим термической обработки
10X2Г2С2МФ-Ш	780	1190	12,5	39	200	290	Режим 1
	510	850	22	59	990	255	Режим 2
	560	970	21	54	810	285	Режим 3
	610	1020	20	55	830	321	Режим 4
	640	1050	18	55	640	321	Режим 5
	790	1250	7,2	11,5	400	332	Режим 6
	530	910	19,5	54	470	255	Режим 7
	610	1070	20	48	540	285	Режим 8
	650	1100	15,5	42	600	321	Режим 9
	680	1130	15	41	670	341	Режим 10
30X2Г2С2МФ-Ш	850	1220	8	21,5	250	405	Режим 1
	550	990	13	37	210	302	Режим 2
	620	1130	14,5	24	180	321	Режим 3
	860	1510	9,4	14	150	444	Режим 4
	850	1460	9,4	19	160	444	Режим 5
	910	1500	11	21,5	160	411	Режим 6
	530	950	15,5	41	230	302	Режим 7
	690	1230	15,5	21	160	302	Режим 8
	880	1570	4	4,7	110	444	Режим 9
	880	1550	10,5	18	160	444	Режим 10

Среди всех проведённых режимов термической обработки для исследуемых сталей близким для получения требуемых механических свойств является режим 10 для стали 10X2Г2С2МФ-Ш. К сожалению, сталь 30X2Г2С2МФ-Ш не обеспечивает даже близкого значения к требуемой ударной вязкости.

## ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*А.Н. Юрченко, м.н.с.,  
А.А. Скачкова, студент гр. МТО-17-16  
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990,  
г.Пермь, Комсомольский пр.,29,  
тел. 89027994337  
E-mail: [aleksmto@gmail.com](mailto:aleksmto@gmail.com)*

Построение диаграмм распада переохлажденного аустенита является актуальной задачей в том случае, когда разрабатываются новые марки сталей. Как правило, построение диаграмм имеет индивидуальный подход [1], который зависит от используемого метода. В работе [2] показано, что для определения критических температур существует три методики. В настоящее время чаще всего используют метод отрыва касательной прямолинейного участка дилатометрической кривой. Однако, использование одной из методик приводит только к определению температурных интервалов, в рамках которых происходят какие-либо превращения. Наиболее сложным случаем считается тот, когда происходит одновременное превращение, например, бейнитное протекает совместно с мартенситным [3-4]. Тогда определение температурных интервалов только по методу отрыва касательной прямолинейного участка дилатометрической кривой недостаточно. В настоящее время существует дилатометрический метод, который позволяет с использованием первой производной дилатограммы выявлять температурные границы фазового превращения на каждой стадии. Однако, нет работ, связанных с исследованием тангенса угла ( $tga$ ) наклона прямолинейного участка дилатометрической кривой в области бейнитного или мартенситного превращений. Предполагается, что зависимость  $tga$  от скорости непрерывного охлаждения позволит также определять низкотемпературные интервалы фазовых превращений и разделять бейнитное и мартенситное превращение. Особенно это касается перспективных высокопрочных сталей третьего поколения с бейнитной структурой. К таким сталям относятся высокопрочные стали систем легирования ХЗГЗМФС и ХНЗМФС [6], разработанные на кафедре МТО ПНИПУ. В связи с этим, целью данной работы является исследование тангенса угла наклона прямолинейного участка дилатометрической кривой в области бейнитного/мартенситного превращений в сталях системы легирования ХЗГЗМФС и ХНЗМФС.

Материалами исследования были выбраны стали систем легирования ХЗГЗМФС и ХНЗМФС. Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сталей

Сталь	Содержание элементов, % (масс.)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
25ХЗГЗМФС	0,318	1,57	2,38	2,87	0,626	0,378	0,159
25ХЗГЗМФС2	0,317	2,71	2,41	2,87	0,597	0,349	0,154
25ХНЗМФС	0,304	1,61	0,268	1,25	0,501	3,14	0,128
25ХНЗМФС2	0,313	2,96	0,257	1,17	0,512	3,23	0,122

Исходной структурой служило горячекованое состояние. Проведение термической обработки осуществляли на горизонтальном высокоскоростном индукционном закалочном дилатометре Linseis L78 R.I.T.A. в среде высокочистого гелия (99,9999%).



Нагрев образцов осуществляли с одинаковой  $V_{\text{НАГР}} = 1,5^\circ\text{C}/\text{с}$ ,  $T_{\text{АУСТ}}$  составляла  $1000^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{\text{ВЫД}} = 900$  с при  $T_{\text{АУСТ}}$ , а  $V_{\text{ОХЛ}}$  с  $T_{\text{АУСТ}}$  находилась в диапазоне от 30 до  $0,03^\circ\text{C}/\text{с}$ .

Для определения тангенса угла наклона прямолинейного участка дилатометрической кривой, полученной после непрерывного охлаждения, в области бейнитного/мартенситного превращений находили прямолинейный участок. Через него проводили луч. После этого определяли тангенс угла наклона луча ( $\text{tg}\alpha$ ) по схеме, представленной на рисунке 1.

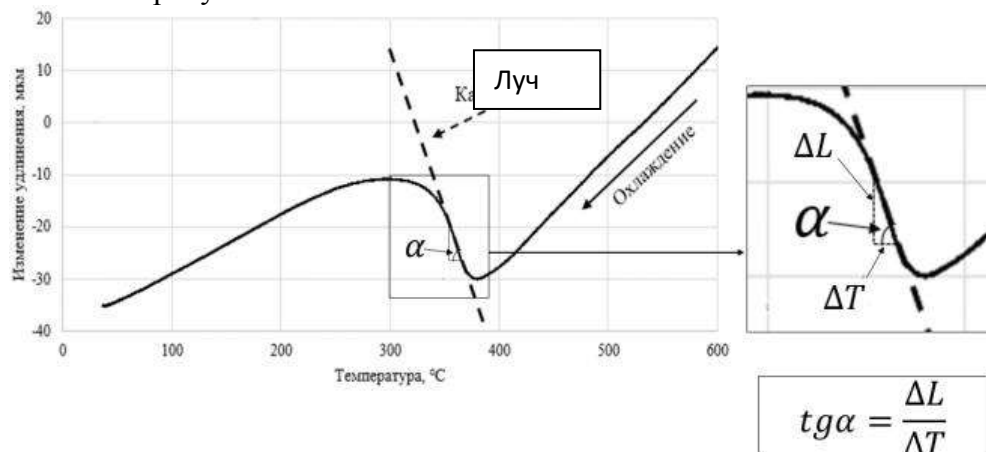
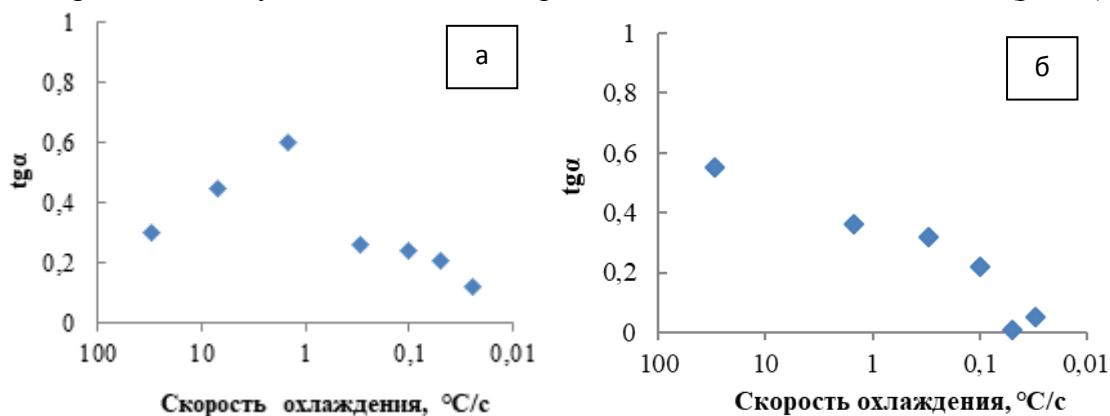


Рис. 1. Схема, поясняющая определение тангенса угла наклона прямолинейного участка дилатометрической кривой в области бейнитного/мартенситного превращений

Значение  $\text{tg}\alpha$  характеризует скорость образования  $\alpha$ -фазы в определенном температурном интервале при непрерывном охлаждении. Чем значение  $\text{tg}\alpha$  больше, тем больше  $\alpha$ -фазы образуется за данный период времени. Максимальное значение тангенса угла наклона находится в интервале скоростей охлаждения от 30 до  $1,5^\circ\text{C}/\text{с}$  (рис. 2), при которых реализуется только низкотемпературное превращение (рис. 3, а). Минимальное значение  $\text{tg}\alpha$  соответствует наименьшим скоростям охлаждения  $0,05$ - $0,03^\circ\text{C}/\text{с}$  (рис. 2).



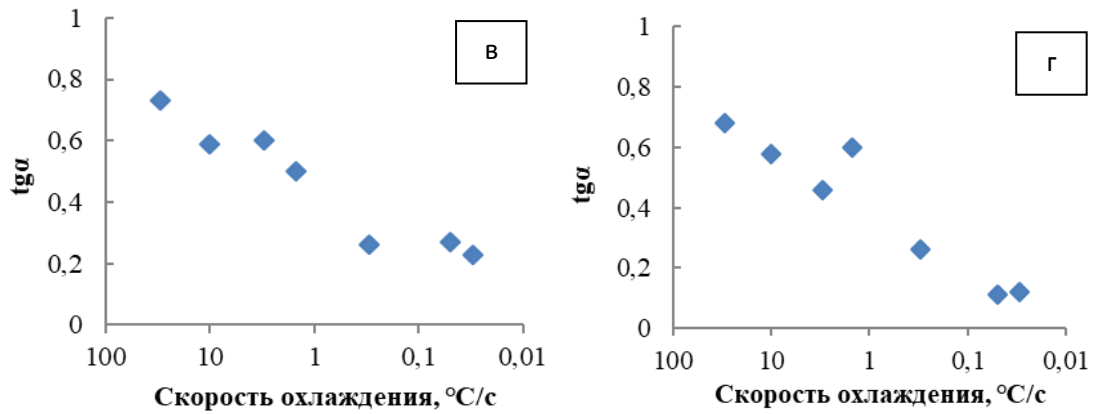
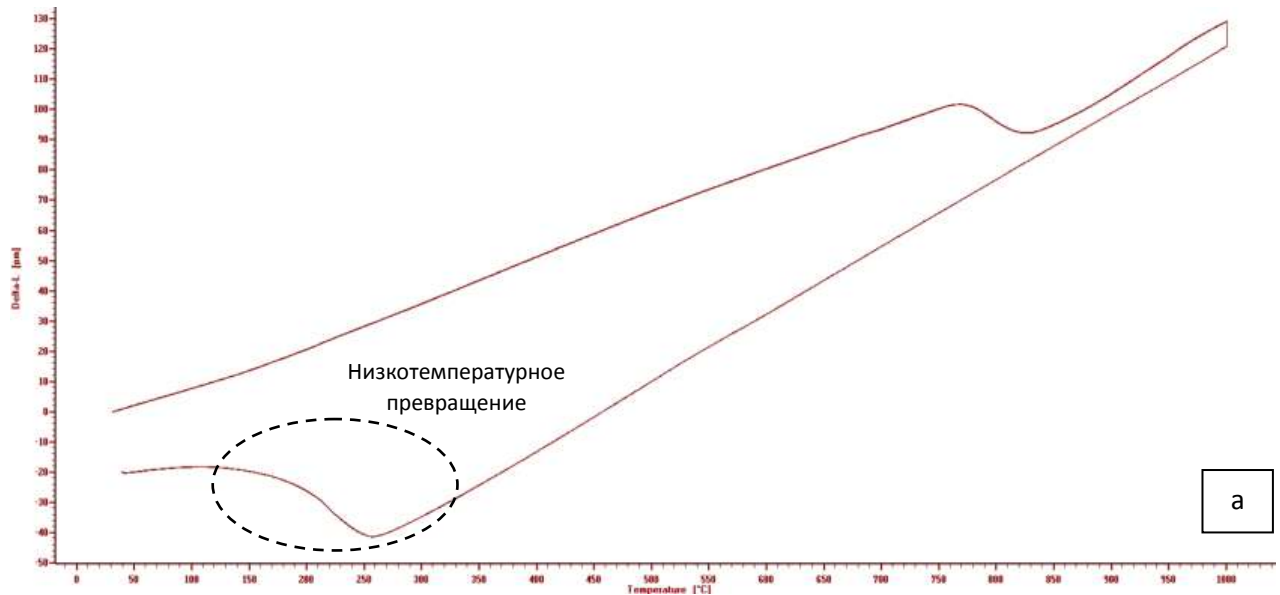


Рис. 2. Зависимость  $tg\alpha$  от скорости охлаждения в различных сталях: а – 25X3Г3МФС; б – 25X3Г3МФС2; в – 25XНЗМФС; г – 25XНЗМФС2.

Снижение параметра  $tg\alpha$  при бейнитном превращении говорит о том, что бейнитное превращение протекает при повышенных температурах, по сравнению с более высокими скоростями охлаждения, или бейнитному превращению предшествует образование избыточного феррита или перлита (рис. 3, б). В целом, уровень  $tg\alpha$  выше в сталях, легированных никелем. Однако, в стали 25X3Г3МФС ярко выраженный максимум  $tg\alpha$  соответствует не максимальной скорости охлаждения, а промежуточной ( $V_{OХЛ}=1,5$  °C/c) (рис. 2, а). Это говорит о том, что нарастание доли  $\alpha$ -фазы происходит не при самой высокой скорости охлаждения 30 °C/c, а при  $V_{OХЛ}=1,5$  °C/c. Так как скорость мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения образца, тогда максимум  $tg\alpha$ , принадлежащий промежуточной скорости охлаждения, в стали 25X3Г3МФС соответствует одновременной активизации и бейнитного, и мартенситного превращений.





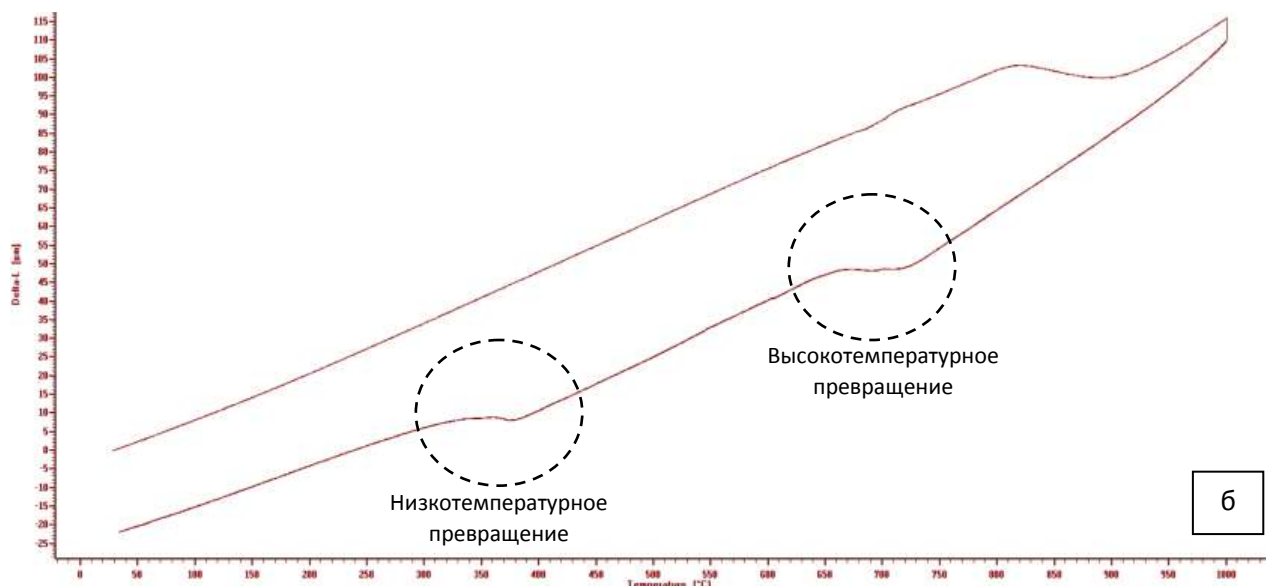


Рис. 3. Дилатометрические кривые сталей 30X3Г3МФС (а) и 30X3Г3МФС2 (б): а –  $V_{\text{охл}}=30 \text{ }^\circ\text{C/c}$ ; б -  $V_{\text{охл}}=0,03 \text{ }^\circ\text{C/c}$

В сталях 25X3Г3МФС2, 25ХН3МФС и 25ХН3МФС2 наблюдается практически линейная зависимость. Это означает, что максимальное значение  $\text{tg}\alpha$  соответствует скорости охлаждения, которая выше  $30 \text{ }^\circ\text{C/c}$ , или, скорее всего, находится в промежутке между  $30$  и  $1,5 \text{ }^\circ\text{C/c}$ .

В итоге по построенным дилатометрическим кривым и зависимостям  $\text{tg}\alpha$  от скорости охлаждения можно предполагать, что в стали 25X3Г3МФС бейнитное превращение протекает при охлаждении со скоростями  $1,5 \text{ }^\circ\text{C/c}$  и ниже, а в стали 25X3Г3МФС2, 25ХН3МФС и 25ХН3МФС2 требуют дополнительного исследования.

### Список литературы

1. Рыжков М.А. Методические вопросы построения термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита в низколегированных сталях / М.А. Рыжков, А.А. Попов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2010. №12. С. 37-41.
2. Цветкова К.Ю. Дилатометрические эффекты, сопровождающие типовую термическую обработку доэвтектоидной малоуглеродистой стали / К.Ю. Цветкова, С.Б. Михайлов, Н.А. Михайлова // *International Journal Of Advanced Studies*. 2017. Т. 7. № 2-2. С. 162-180.
3. Юрченко А.Н. Превращения, структура и свойства стали 22Х2Г2С2МФ при непрерывном охлаждении / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов, Д.О. Панов, А.И. Житенев // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2019. – № 10. – С. 33-37.
4. Юрченко А.Н. Превращения, структура и свойства стали 22Х2Г2С2МФ при непрерывном охлаждении / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов, О.В. Ефимова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2019. – № 10. – С. 38-42.
5. Патент RU 2639735 С1. Способ оценки дилатометрических исследований фазовых превращений в сплавах железа / Д.О. Панов, Ю.Н. Симонов // *БИ*. 2017. №36.
6. Симонов Ю.Н. Принципы конструирования химического состава сталей для получения структуры нижнего бескарбидного бейнита при замедленном охлаждении / Ю.Н. Симонов, Д.О. Панов, М.Ю. Симонов [и др] // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2015. № 7. С. 20-28.

**СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

*В.И. Богданович, д.т.н., проф.,*

*М.Г. Гиорбелидзе, ассистент*

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика*

*С.П. Королева, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,*

*тел. 8(846)268-54-92*

E-mail: bogdanovich@ssau.ru; m.giorbelidze@ssau.ru

Повышение ресурса и надежности деталей машин является актуальным вопросом, реализация которого осуществляется различными способами, в том числе направленным изменением свойств поверхностного слоя за счет нанесения специальных покрытий из разных материалов. Достаточно широкое распространение получили способы осаждения покрытия в вакууме посредством плазменных технологий высоких энергий [1-11]. В этих технологиях струя плазмы, состоящая из атомов, ионов металла и электронов, генерируемая за счет электродугового испарения или ускорения в магнитном поле, осаждается на изделие в вакуумной камере. Отличительными особенностями таких потоков являются: высокая ионизация плазмы; средняя кратность ионизации ионов более единицы; высокая плотность потока материала, доставляемого потоком плазмы; высокая начальная энергия ионов в потоке, составляющая десятки эВ [1, 2].

В последнее время плазменным технологиям высоких энергий было посвящено значительное количество научных публикаций, в которых был успешно решен ряд важных задач, что существенно ускорило внедрение данной технологии на промышленных предприятиях. Дальнейшее совершенствование технологий осаждения покрытий из атомарных и ионных потоков невозможно без комплексного решения как фундаментальных, так прикладных и технических проблем. При решении фундаментальных задач необходимо обеспечить разработку новых математических моделей и установление закономерностей применительно к основным процессам плазменных технологий высоких энергий.

1 Необходимо учесть взаимодействие плазменной струи с реакционными газами при переносе испаряемого материала с катода к поверхности изделия.

2 Учесть взаимодействие между поверхностью и частицами из атомарного потока, обладающими энергией от 10 до 1000 эВ, а также их влияние на протекание реакций при выращивании покрытий.

3 Учесть электрообменные процессы между плазмой в потоке с поверхностью изделия в процессе осаждения покрытия.

4 Обеспечить оптимизацию структуры многослойных и многокомпонентных систем для значительного повышения физико-химических свойств покрытия.

5 Учесть влияние и установить закономерности технологической наследственности, обусловленной технологическим методом на структуру и свойства деталей с покрытиями.

6 Установить влияние и закономерности основных технологических параметров процесса напыления на свойства осаждаемых покрытий.

7 Определить оптимальные области реализации для многокомпонентных и многослойных покрытий.

Помимо указанных задач, характерных для ионно-плазменного метода, для получения специальных покрытий плазменными технологиями высоких энергий необходимо решить задачи в области теплофизики процесса и механики деформируемых тел с изменяемой геометрией [1, 3].

В работе обозначены направления решения некоторых фундаментальных и прикладных проблем, возникающих при получении вакуумных ионно-плазменных покрытий. Большое внимание уделено оценке и влиянию термической и нетермической активации при формировании покрытий. Отмечено существенное влияние нетермической активации на процессы, обусловленные бомбардировкой быстрыми частицами из плазменного потока и передачей кинетической энергии от атомарных частиц поверхности. Рассмотрен эффект и причины возникновения поверхностных фокусонов. Приведен алгоритм расчета констант скорости поверхностных реакций на примере молекулы  $N_2$  при получении нитридного покрытия.

### Список литературы:

1. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. – М.: Наука и технологии, 2005. – 456 с.
2. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математические методы моделирования процессов нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1999. – 305 с.
3. Богданович В.И. Разработка методологических принципов проектирования технологий формирования поверхностного слоя изделий плазменным напылением // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 1999. – №2. – С.87-94.
4. Богданович В.И. Кинетика гетерогенного плазмохимического синтеза нитридных покрытий из плазменных потоков // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 1999. – №1. – С.65-71.
5. Oksengendler B.L., Turaeva N.N., Maksimov S.E., Djurabekova F.G. Peculiarities of radiation-induced defect formation in nanocrystals embedded in a solid matrix // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2010. – Vol. 111, Issue 3. – P.415-420.
6. Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности раздела металл-газ. – М.: Мир, 1981. – 359 с.
7. Gumen O., Bilyk I., Kruzhkova M. Geometrical Simulation of Optimized Vacuum-Condensation Spraying Technology for Titanium Nitride on Structural Steel // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2020. – Vol.47. – P.103-110.
8. Bobzin K., Brögelmann T., Kalscheuer C., Welters M. Structure, mechanical characteristics and thermal stability of high speed physical vapor deposition (Al, Cr) $_2$ O $_3$  coatings // Thin Solid Films. – 2019. – Vol. 690. – article number 137529.
9. Chen Z., Qiao L., Hillairet J., Song Y. Development and characterization of magnetron sputtered self-lubricating Au-Ni/a-C nano-composite coating on CuCrZr alloy substrate // Applied Surface Science. – 2010. – Vol. 492. – P.540-549.
10. Chang Y.-Y., Cai M.-C. Mechanical property and tribological performance of AlTiSiN and AlTiBN hard coatings using ternary alloy targets // Surface and Coatings Technology. – 2019. – Vol. 374. – P.1120-1127.

11. Potoczna-Petru D., Kępiński L., Krajczyk L. Interaction of Co thin films with SiO<sub>2</sub>: Effect of Co loading // Materials Chemistry and Physics. – 2005. – Vol. 92(2-3). – P.613-615.

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ТЕПЛОПЕРЕНОС ВНУТРИ ЗАМКНУТОГО РАДИАТОРА, ЗАПОЛНЕННОГО ПАРАФИНОМ

*Н.С. Бондарева, к.ф.-м.н.,*

*М.А. Шеремет д.ф.-м.н.,*

*Е.В. Шулепова, магистрант гр. 048М*

*Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,*

E-mail: [bondarevans@mail.tsu.ru](mailto:bondarevans@mail.tsu.ru)

Радиаторные системы на основе высокотеплопроводных металлов используют во многих технических системах для отвода лишнего тепла. За счет дополнительного ребрения повышается площадь поверхности профиля и интенсифицируется теплообмен со средой [1–3]. В замкнутых системах, ограниченных по размеру, воздушное охлаждение не справляется с интенсивным тепловыделением, радиатор перегревается достаточно быстро. Чтобы повысить эффективную теплоемкость радиатор погружают в материал с изменяемым фазовым состоянием. При переходе из твердого агрегатного состояния в жидкое поглощается большое количество энергии практически при одной и той же температуре, что препятствует перегреву системы при высоких тепловых нагрузках [3–5].

Для интенсификации теплопереноса внутри таких материалов помимо металлических конструкций могут применяться металлические пены или наночастицы с высокой теплопроводностью. Однако наряду с усилением кондуктивного обмена наночастицы вносят вклад в гидродинамические процессы, снижая эффективность конвективного теплопереноса [6,7]. Процессы теплопереноса, происходящие внутри материалов с изменяемым фазовым состоянием, трудно поддаются изучению из-за наличия движущейся границы с высоким тепловыми потоками. Экспериментальное изучение процесса сложно выполнимо и не дает подробных результатов. В то время как численное решение позволяет получить более точные характеристики теплопереноса в любой момент времени.

В данной работе проведено численное исследование плавления n-октадекана с наночастицами  $Al_2O_3$  внутри замкнутого медного радиатора. Проанализировано влияние размеров области и интенсивности тепловыделения на режимы плавления материала при различных концентрациях наночастиц. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии были сформулированы в преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура» и решены с использованием методов конечных разностей. На рисунке 1 представлена область решения задачи: замкнутый медный радиатор с тремя внутренними ребрами расположен над источником объемного тепловыделения со свойствами кремния. Однородное тепловыделение внутри источника происходило по гармоническому закону  $Q = Q_0(1 - \sin(2\pi t/f))$ . Во внутренних полостях радиатора находится парафин с наночастицами оксида алюминия. Верхняя и боковая границы радиатора охлаждаются воздушной конвекцией, остальные границы теплоизолированы. Температура внешней среды ниже температуры плавления парафина и к начальному моменту вся система была охлаждена.

Считалось, что наночастицы однородно распределены по объему, концентрация была постоянной и применялась однофазная модель. То есть теплофизические свойства парафина с наночастицами рассматривались постоянными, не зависящими от температуры, в твердом материале и расплаве. Расплав считался вязкой ньютоновской жидкостью, для описания термогравитационных сил была задействована модель Буссинеска.

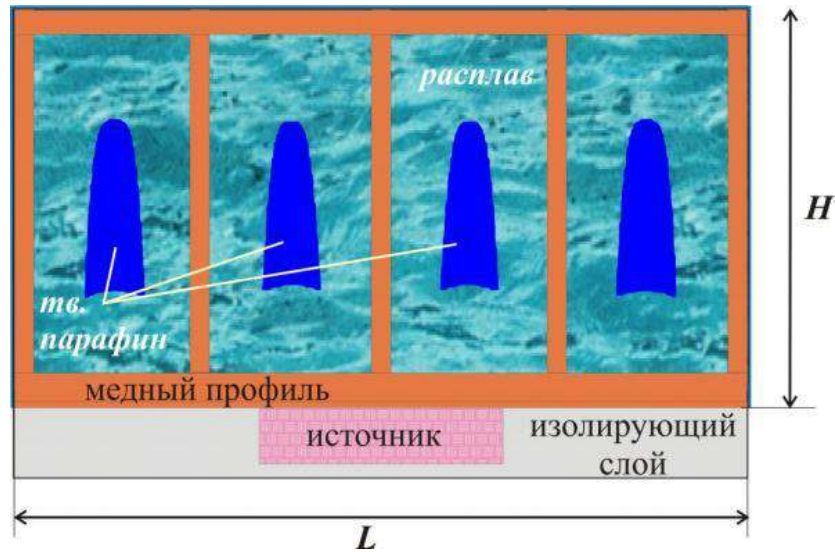


Рис 1. Рассматриваемая область

Вычисления проводились на сетке  $481 \times 201$ , в результате были получены поля температуры, а также средняя температура в источнике и максимальные значения функции тока внутри области расплава на длительном временном отрезке. Алгоритм решения был протестирован на ряде экспериментальной и численных работах [8]. Тестирование на сходимость по сеточным параметрам показало сходимость решения. В рамках данной постановки вычисления проводились в широком спектре параметров: было проанализировано влияние числа Рэлея, числа Остроградского и массовой концентрации наночастиц на процессы плавления материала.

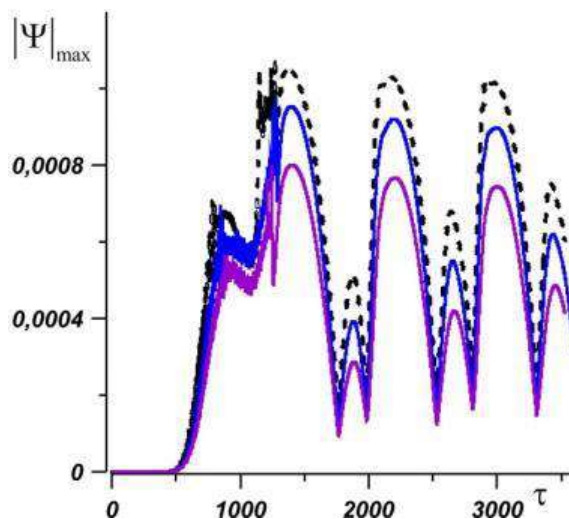


Рис. 2. Максимальные значения функции тока при  $Ra = 4.03 \cdot 10^6$

На рисунке 2 представлен график изменения максимального значения функции тока с момента старта тепловыделения при следующих безразмерных параметрах:  $Pr = 48.36$ ,  $Ra = 4.03 \cdot 10^6$ . До начала плавления источник прогревается до температуры изменения фазы. Изначально весь парафин находился в твердом состоянии, поэтому значения функции тока были равными нулю. С появлением области расплава значения  $|\Psi|_{\max}$  резко возрастают, это можно объяснить тем, что на начальных этапах плавления область расплава расширяется быстрее из-за высоких тепловых потоков и малого расстояния

между межфазной границей и нагревающим профилем. Так как режим тепловыделения рассматривался нестационарным и периодическим, в области устанавливается режим с периодической реструктуризацией. Следует отметить, что из-за повышения вязкости расплава с повышением объемной доли наночастиц, наблюдается снижение значений функции тока, что говорит о снижении интенсивности естественной конвекции. На рисунке 3 представлена зависимость средней температуры в источнике от времени. Наибольшие температуры наблюдаются в чистом парафине. С добавлением наночастиц ( $\varphi = 3\%$ ) температура снижается, однако дальнейшее повышение концентрации менее способствует снижению температуры.

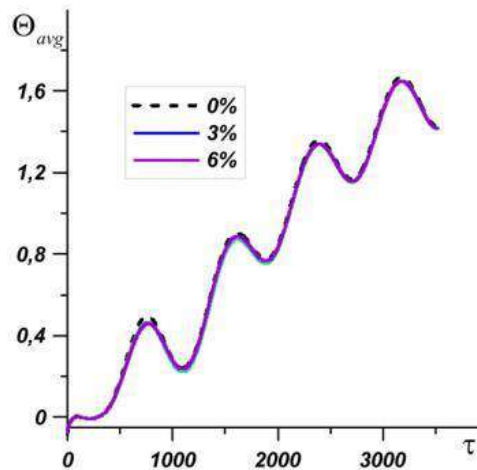


Рис. 4. Средняя температура в источнике при  $Ra = 4.03 \cdot 10^6$

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента для молодых ученых МК-1934.2019.1.

#### Список литературы:

1. Jeon D., Byon C. Thermal performance of plate fin heat sinks with dual-height fins subject to natural convection // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2017. – Vol. 113. – pp. 1086–1092.
2. Lampio K., Karvinen R. Optimization of convectively cooled heat sinks // *Microelectronics Reliability*. – 2017. – Vol. 79. – Pp. 473–479.
3. Gharbi S., Harmand S., Jabrallah S.B. Experimental comparison between different configurations of PCM based heat sinks for cooling electronic components // *Applied Thermal Engineering*. – 2015. – Vol. 87. – Pp. 454–462.
4. Arshad A., Ali H.M., Khushnood S., Jabbal M. Experimental investigation of PCM based round pin-fin heat sinks for thermal management of electronics: Effect of pin-fin diameter // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2018. – Vol. 117. – Pp. 861–872.
5. Kalbasi R., Salimpour M.R. Constructal design of phase change material enclosures used for cooling electronic devices // *Applied Thermal Engineering*. – 2015. – Vol. 84. – Pp. 339–349.
6. Namburu P.K., Kulkarni D.P., Misra D., Das D.K. Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2007. – Vol. 32. – Pp. 397–402.
7. Bayat M., Faridzadeh M.R., Toghraie D. Investigation of finned heat sink performance with nano enhanced phase change material (NePCM) // *Thermal Science and Engineering Progress*. – 2018. – Vol. 5. – Pp. 50–59.
8. Bondareva N.S., Sheremet M.A. Mathematical simulation of melting inside a square cavity with a local heat source // *Thermophysics and Aeromechanics*. – 2016. – Vol. 23, No. 4. – Pp. 553–565.



## РАСЧЁТ ВЫРАВНИВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ШИНАХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

*В.А. Гречишников, д.т.н., доц.,  
И.В. Терёшкина, инженер 2 категории*  
Российский университет транспорта, 127994, г.Москва, ул.Образцова, д.9, стр.9,  
тел.8(495)684-21-57  
E-mail: [victor\\_gre@mail.ru](mailto:victor_gre@mail.ru)

Режим напряжения в тяговой сети крайне важен ещё и потому, что может вызывать нежелательные перетоки мощности по зонам питания от подстанции с более высоким напряжением на шинах к подстанции с меньшим напряжением на шинах. Иными словами, говорят, что по зоне питания протекает, так называемый, уравнительный ток, который приводит к потерям энергии в тяговой сети. Идеальным вариантом было бы обеспечение равенства напряжений на шинах всех подстанций при любых изменениях параметров электрической схемы замещения системы тягового электроснабжения [1].

На первом этапе решения поставленной задачи необходимо составить такую схему расчётов, чтобы определять напряжения на шинах всех тяговых подстанций с учётом всех остальных элементов схемы [4,6]. На втором этапе необходимо определить условия выравнивания напряжений на шинах всех тяговых подстанций с учётом всех остальных элементов схемы или разработать алгоритм минимизирующий разницу напряжений на шинах с целью уменьшения потерь от, так называемых, уравнительных токов [5,7].

Запишем уравнение из метода узловых потенциалов:  $\varphi^y = (G^y)^{-1} \cdot (J^y - A \cdot G^s \cdot E^s)$ .

Для определения напряжений ветвей схемы используют:  $U^s = A^T \cdot \varphi^y$ . Сформируем матрицу напряжений на тех узлах, разность потенциалов на которых соответствует напряжениям на шинах подстанций [3] посредством матрицы  $A_{mn}$ . Матрица  $A_{mn}$  должна описывать узлы втекания и вытекания тока подстанции и протекающего через ЭДС подстанции и внутреннее сопротивление подстанции. Размерность матрицы  $A_{mn}$   $[y, N_{mn}]$ , где  $N_{mn}$  - число тяговых подстанций. Тогда  $U^{s\ mn} = A_{mn}^T \cdot \varphi^y$ . Раскрывая  $\varphi^y$  получим:

$$U^{s\ mn} = A_{mn}^T \cdot \varphi^y = A_{mn}^T \cdot (G^y)^{-1} \cdot J^y - A_{mn}^T \cdot (G^y)^{-1} \cdot A \cdot G^s \cdot E^s$$

Анализ формулы показывает очевидные вещи: матрицы  $A_{mn}^T$ ,  $(G^y)^{-1}$ ,  $A$ ,  $G^s$  зависят от конфигурации и параметров схемы замещения системы тягового электроснабжения и, при определённых допущениях, практически статичны, т.е. они определяют коэффициенты или степени влияния  $J^y$  и  $E^s$  на напряжения на шинах тяговых подстанций. Значит можно для упрощения понимания записать:  $U^{s\ mn} = K_1 \cdot J^y - K_2 \cdot E^s$ .

Положим принцип управления напряжением на шинах тяговых подстанций такой, что их уровень будет стремиться к среднему напряжению на шинах всех подстанций. Идея такого подхода зиждется на том, что тяговая нагрузка практически всегда существует (если тяговой нагрузки нет, то по межподстанционным зонам токи не протекают при любых напряжениях на шинах подстанций из-за «запирания» подстанций с наименьшим напряжением холостого хода), что вызывает падение напряжения в силовых цепях тяговых подстанций и снижению напряжения на шинах по отношению к напряжению холостого хода [2,8]. Стало быть, напряжение всегда на всех подстанциях «проседает», но по-разному, поэтому бессмысленно стремиться к уровню холостого хода. Можно стремиться к номинальному уровню (3300 В для тяговых подстанций

электрифицированных железных дорог и 825 В для тяговых подстанций метрополитенов), однако это является частным случаем более общей задачи по обеспечению среднего уровня напряжения между всеми тяговыми подстанциями, ведь всегда средний уровень можно заменить на номинальный. Более того, компенсировать падение напряжения до среднего уровня возможно придётся на меньшую величину, чем до номинального, что может приводить к сокращению расходов на компенсацию. К этому же выводу можно прийти при нахождении линии, построенной методом наименьших квадратов, если в качестве линии принять горизонтальную линию.

Если в качестве линии принять горизонтальную линию  $y=B$ , то расстояние по вертикали от точки  $(x_k; y_k)$  до точки  $(x_k; B)$  на линии  $y=B$  равно  $d_k = |B - y_k|$ . Нужно

минимизировать сумму квадратов расстояний  $d_k$ :  $E(B) = \sum_{k=1}^n (B - y_k)^2 = \sum_{k=1}^n d_k^2$ .

Продифференцируем  $E(B)$  по  $B$ . Получим:  $\frac{dE(B)}{dB} = \sum_{k=1}^n 2(B - y_k) = 2 \sum_{k=1}^n (B - y_k)$ .

Положим производную нулю и воспользуемся свойством дистрибутивности суммы, чтобы получить  $2 \sum_{k=1}^n (B - y_k) = 0 \Rightarrow n \cdot B - \sum_{k=1}^n y_k = 0 \Rightarrow B = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k$ , т.е., если в качестве  $y_k$

принять  $U_k^{6mn}$ , то  $U_{cp}^{6mn} = \frac{1}{N_{mn}} \sum_{i=1}^{N_{mn}} U_i^{6mn}$ . Таким образом, получаем соотношение

$U^{6mn} \rightarrow U_{cp}^{6mn}$  или  $U^{6mn} - U_{cp}^{6mn} \rightarrow 0$ . Если  $U_{cp}^{6mn} = \frac{1}{N_{mn}} \sum_{i=1}^{N_{mn}} U_i^{6mn}$ , но  $U^{6mn} = K_1 \cdot J^y - K_2 \cdot E^e$ ,

значит:

$$U_{cp}^{6mn} = \frac{1}{N_{mn}} \sum_{i=1}^{N_{mn}} U_i^{6mn} = \frac{1}{N_{mn}} \sum_{i=1}^{N_{mn}} [(K_1 \cdot J^y)_i - (K_2 \cdot E^e)_i] = \frac{1}{N_{mn}} \left( \sum_{i=1}^{N_{mn}} (K_1 \cdot J^y)_i - \sum_{i=1}^{N_{mn}} (K_2 \cdot E^e)_i \right)$$

В итоге можно прийти к следующей записи:

$$U^{6mn} - U_{cp}^{6mn} = K_1 \cdot J^y - K_2 \cdot E^e - (K_1 \cdot J^y - K_2 \cdot E^e) = (K_1 - K_1) J^y - (K_2 - K_2) E^e$$

или

$$U^{6mn} - \Delta U = U_{cp}^{6mn}, \text{ где } \Delta U = (K_1 - K_1) J^y - (K_2 - K_2) E^e$$

Для минимизации разницы можно взять частные производные по  $E_k^e$  и получить систему из  $N_{mn}$  уравнений и  $N_{mn}$  неизвестными в виде  $E_k^e$ . Решение этой системы позволит определить управляющие воздействия на напряжения на шинах подстанций за счёт изменения напряжений холостого хода в следствии, например, применения регулирования под нагрузкой трансформаторов или регулирования работой выпрямительного агрегата на управляемых полупроводниковых элементах, а также за счёт применения регулируемых вольтодобавочных устройств.

Таким образом управляющее воздействие на напряжение на шинах тяговых подстанций можно вычислить следующим образом:

$$U^{6mn} - U_{cp}^{6mn} = (K_1 - K_1) J^y - (K_2 - K_2) E^e \Rightarrow U^{6mn} - (K_1 - K_1) J^y + (K_2 - K_2) E^e = U_{cp}^{6mn}$$

Это выражение не удобно, так как требует знания токов нагрузок по всей зоне на каждой тяговой подстанции. Попробуем исправить это.

Введём  $I^{6mn}$ :  $I^{6mn} = K_3 \cdot \left\| \begin{matrix} A \\ B \cdot R^e \end{matrix} \right\|^{-1} \cdot \left\| J^y \right\|$ , где  $K_3$  матрица, выделяющая из токов всех

ветвей только токи ветвей, соответствующих тяговым подстанциям. Размерность матрицы

$K_3 [N_{mn}, e]$ . Введём матрицу  $K_4$  такую, что:

$$K_4 = K_3 \cdot \left\| \begin{array}{c} A \\ B \cdot R^e \end{array} \right\|^{-1}.$$

Тогда получим:  $U^{e\,mn} - U_{cp}^{e\,mn} = (K_1 - K_1)J^y - (K_2 - K_2)E^e$  и

$$I^{e\,mn} = K_4 \cdot J^y + K_5 \cdot E^e \Rightarrow K_4 \cdot J^y = I^{e\,mn} - K_5 \cdot E^e$$

и в итоге:  $U^{e\,mn} - U_{cp}^{e\,mn} = I^{e\,mn} - K_5 \cdot E^e - (K_2 - K_2)E^e$ , однако, замена  $(K_1 - K_1)J^y$  на  $I^{e\,mn} - K_5 \cdot E^e$  не равноценная и надо скомпенсировать разницу коэффициентов перед  $J^y$ .

Это возможно сделать, если сначала вычислить псевдообратную матрицу  $(K_4)^+$ , а затем вычислить  $(K_1 - K_1) \cdot (K_4)^+$ . Запишем итоговое выражение в следующем виде:

$$U^{e\,mn} - U_{cp}^{e\,mn} = \left( (K_1 - K_1) \cdot (K_4)^+ \right) \cdot (I^{e\,mn} - K_5 \cdot E^e) - (K_2 - K_2)E^e.$$

Полученная формула позволяет вести расчёт требуемого изменения напряжения на каждой тяговой подстанции исходя из параметров только тяговых подстанций и не заниматься определением токов нагрузок по всему участку. Однако обмен информацией между тяговыми подстанциями относительно токов тяговых подстанций и напряжений холостого хода тяговых подстанций необходим, но эти величины легко измеряются в реальном времени.

### Список литературы:

1. Андреев, В. В. Расчёт относительной реализуемой мощности трансформатора тяговой подстанции по старению изоляции [Текст] / В. В. Андреев, В. А. Гречишников, Н. Н. Привезенцев, М. В. Шевлюгин // Электротехника. – 2011. – № 8. – С. 46-49.
2. Бадёр, М. П. Анализ показателей работы силового оборудования системы тягового электроснабжения ОАО «РЖД» на основе мониторинга показателей АСКУЭ тяговых подстанций в режиме реального времени [Текст] / М. П. Бадёр, В. А. Гречишников, Ю. Н. Король, М. В. Шевлюгин // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – №5-6. – С. 5-8.
3. Гречишников, В. А. Расчёт системы тягового электроснабжения метрополитена с учётом частичных токов рекуперации, отдаваемых вагонами типа «Русич» [Текст] / В. А. Гречишников // Электротехника. – 2010. – № 5. – С. 29-33.
4. Андреев, В. В. Расчёт интегральных показателей работы разветвлённых систем тягового электроснабжения [Текст] / В. В. Андреев, В. А. Гречишников, М. В. Шевлюгин // Электротехника. – 2012. – № 12. – С. 32-36.
5. Гречишников, В.А. Теоретическое обоснование эффективности использования накопителей энергии неуправляемого типа в системе тягового электроснабжения метрополитена. [Текст] / М.В. Шевлюгин, В.А.Гречишников // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2013. – №5. – С. 17-19.
6. Гречишников, В.А. Оценка гармонических составляющих тягового тока в системе электроснабжения метрополитена при работе 12-пульсовых выпрямительных агрегатов [Текст] / М.П. Бадёр, В.А. Гречишников, М.В. Шевлюгин, Данг Вьет Фук // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 1. – С.17-21.
7. Гречишников, В.А. Повышение качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения метрополитена с использованием 12-пульсовых

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

преобразовательных агрегатов [Текст] / В.А. Гречишников, М.В. Шевлюгин и др. // Практическая силовая электроника. – 2016. – № 2. – С. 38-43.

8. Гречишников, В.А. Развитие методологии расчета систем тягового электроснабжения. [Текст] / В.В. Андреев, В.А. Гречишников, Ю.Н. Король, М.В. Шевлюгин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 8. – С. 32-34.

## **ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПРОФСТАЖИРОВКИ 2.0 И WORDSKILLS ЧЕРЕЗ ЦИФРОВИЗАЦИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ**

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент,  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67  
Тел. 8(963)3437759  
E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

В статье рассматриваются проблемы обучения и повышения квалификации студентов технических специальностей в связи с требованиями индустрии 4.0. Четвертая промышленная революция предъявляет очень высокие требования по практической подготовке выпускников, тщательной отработке ряда профессиональных компетенций. Современный курс Правительства России, направленный на развитие системы производственных навыков имеет ряд отлажено работающих проектов в сфере взаимодействия промышленных компаний и образовательных организаций. Примером тому может служить активно развивающаяся с 2012 года движение WordSkills (WS), которое через создание компетенций Future Skills разрабатывает инновационные методы освоения «профессий будущего». По внедряющейся методике WS в процессе обучения необходимо, прежде всего, подготовить специалиста, который будет воспринимать курс обучения не что иное как непрерывную цепочку проектов между заданиями, предусмотренными Рабочей программой дисциплины (РПД) – утвержденной Минобрнауки, и с другой стороны частью программ (назовем их Производственно-практической программой дисциплины), утвержденных предприятием, с которым имеются договоры о сотрудничестве. В современном юридическом пространстве это достигается путем заключения договора с индустриальным партнером, а реализуется через тесный контакт между преподавателями ВУЗа и специалистами производств. Следующий проект, который усиливает возможности профессий из разряда Future skills – система Профстажировки 2.0, представленная виртуальной платформой для взаимодействия с производственными компаниями. Профстажировки 2.0 – совместный проект АНО «Россия – страна возможностей» и Общероссийского народного фронта. Рассмотрим, какие основные проблемы призван решить данный проект

- 33% проведенных производственных практик лишь опосредованно соответствуют темам курсовых или дипломных работ студентов
- 25% практик совсем не связаны с темами курсовых или дипломных работ
- Курсовые и квалификационные работы студентов зачастую не имеют практической направленности и не могут быть включены в хозяйственный оборот предприятий
- Учебные, преддипломные практики и стажировки часто проходят формально
- Задание на практику и стажировку не всегда отражает актуальные задачи предприятия. Студенты не получают достаточно данных для выполнения курсовых работ (проектов) и выпускных работ

Проблема практик в современном образовательном процессе - актуальный вопрос. При системе совмещенного образования во ВТУЗах в советский период курс практической подготовки варьировался назначался от 1,5 до 2,5 лет, что в среднем в 4 раза больше чем длительность практик в Российских ВУЗах технического профиля. В настоящее время длительный срок практики компенсируется системами визуализации. Дуальная система обучения предполагает введение практик, способных увеличить долю памяти, выполнив тем самым требования компетенций в РПД. Но как можно еще

увеличить запоминаемость студентов при проектировании установок, машин и подобных сложных механизмов, если Вузы лишили длительных практик, но дали неограниченный доступ ко всем ресурсам интернета?

В настоящее время возможно констатировать факт нехватки практических знаний для студентов для освоения профессиональных компетенций. Причин данному факту несколько – низкая заинтересованность студентов в краткосрочных отношениях с предприятием – сроки практик от 2 недель до 4 не предоставляют возможности «закрепиться» на рабочем месте и заработать достойно. Ко второй причине стоит отнести возможность дополнительных перечней обязанностей, которые возлагают на практиканта предприятия, никак не «участвуя» в образовательном процессе студента в течение семестра. Для студентов и для предприятий в настоящее время производственная практика – искра, которая, не успев разгореться, быстро тухнет. Задачей преподавателя является создание той самой постоянной атмосферы ежемесячного общения студентов с предприятиями в течение всего периода обучения, не забывая при этом про занятость как студентов, так и специалистов с производства. Возможность сделать все вышеперечисленное реальностью позволяют современные системы цифровизации. Важным достижением, позволяющим использовать современные технологии и развивать память студентов является общение со специалистами - производственниками компаний по Skype, проведение совместных семинаров, увеличения количества часов на экскурсионные мероприятия [6]. Совместные проекты с представителями производственной среды возможны через создание совместных групп Вконтакте, где общение может протекать в очень простой форме (Рисунок 1).

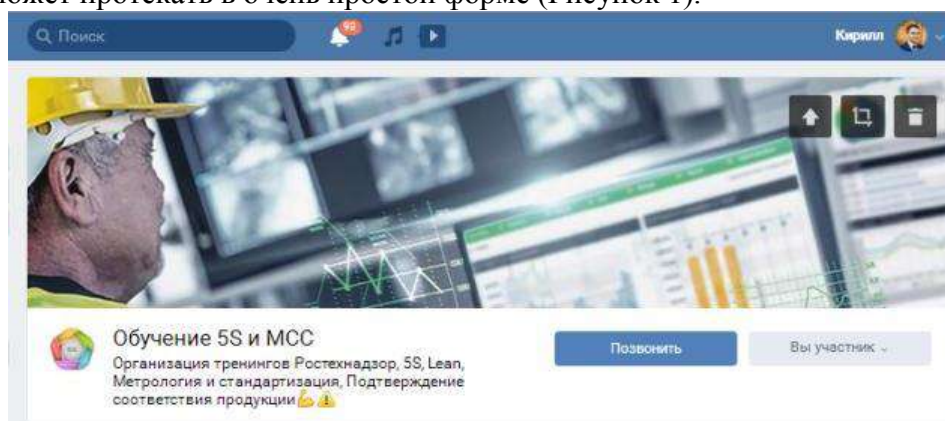


Рис. 1 – Группа Вконтакте для создания совместных проектов студентов с представителями производств, созданная в Университете ГУАП

Созданная Вконтакте группа «Обучение 5s и MCC» является связующим звеном между студентами и представителями производственного сектора. Кроме того, по причине вовлеченности студентов в данную социальную сеть, почти все без исключения вовлечены в процесс

Еще одним важным видом увеличения ресурса памяти студентов являются подкасты. Исследуем процесс появления этого термина. Слово «подкаст» и сами подкасты в современном виде появились лишь в начале 2000-х. Их появлению поспособствовали несколько технологий: RSS, аудиоформат MP3 и iPod. RSS — формат, который позволяет легко транслировать контент и подписываться на него в интернете, — создал разработчик Дэйв Вейнер. Он довольно быстро придумал способ делиться через RSS медиафайлами. Долгое время этой возможностью никто не пользовался, пока Вейнер не создал для своего знакомого Кристофера Лайдона фид с аудио. Лайдон был журналистом и ведущим на радио, у него была студия, и он выкладывал MP3-файлы с разговорами с блогерами, учёными, политиками и так далее [1-3].



На кафедре Метрологического обеспечения инновационных технологий Санкт-Петербургского государственного аэрокосмического горного университета в процессе проведения лекционного и практического курса по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов бакалавриата была реализована

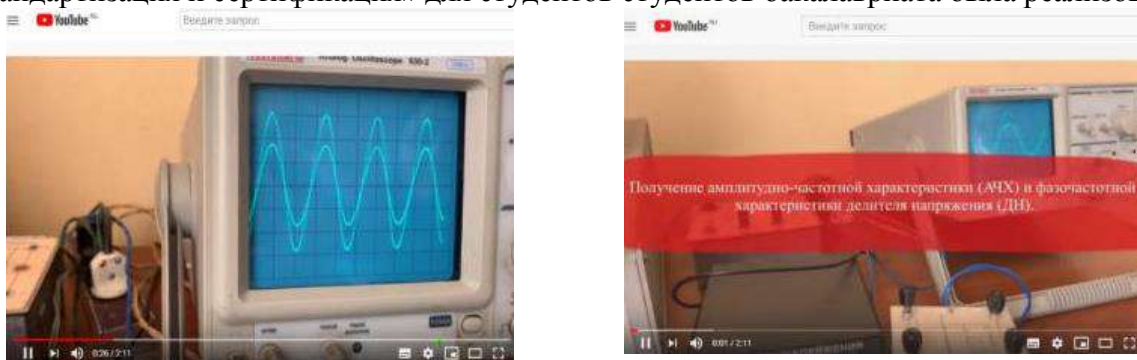


Рис. 2 – Загруженный подкаст на лабораторную работу «Измерение импульсных сигналов»

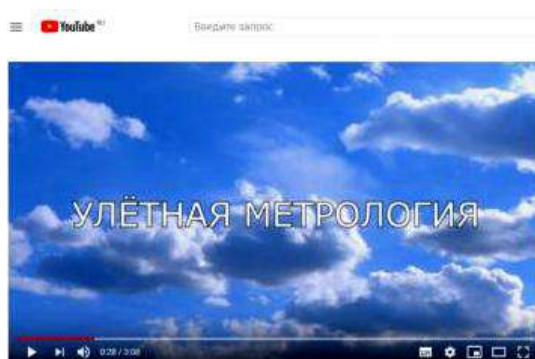


Рис. 3 – Общий вид блога в YouTube по лабораторным работам

система загрузки отчетов по лабораторным работам в виде письменного отчета и подкастов (Рисунок 2). Студенты комментируют на видео ход своей работы, делают видеомонтаж и загружают ролик в Youtube или просто в свой личный архив, после чего преподаватель оценивает качество работы и добавляет дополнительные баллы, которые влияют на итоговую оценку. Но главное - не сам факт оценки, а факт памяти. В период копирования или списывания отчетов по лабораторной работе у сокурсников, как это часто происходит, у студентов срабатывает ультракороткая память, что не позволяет запомнить ничего, кроме названия работы. Записывая подкаст, чувствуя на себе объективе камеры, студент понимает что говорит, осознает каждое слово, так как запись попадет в эфир, она будет набирать тысячи просмотров. И таким образом, мы подталкиваем его память переместится из категории кратковременной и ультракороткой в память словесно – логическую, которая по мнению психолога П. П. Блонского является наиболее качественной и длительной (Таблица 1).

Психолог и педагог П.П. Блонский в своих исследованиях так описывает структуры памяти обучающихся [8-10].

Таблица 1 Виды памяти обучающихся по П.П. Блонскому

Виды памяти обучающихся	Характеристика
Двигательная	позволяет нарабатывать практические и трудовые навыки. В основе двигательной памяти лежат процессы запоминания, сохранения в сознании двигательных актов, совокупности движений, передвижения человека в пространстве.



Аффектная	состоит в запечатлении и сохранении в сознании переживаний и чувств. Она характеризуется быстротой формирования, особой прочностью сохранения, произвольностью воспроизведения информации. Эмоциональная память является необходимой предпосылкой в развитии способности к сочувствию и сопереживанию.
Образная	позволяет сохранять в сознании образы однажды воспринятого жизненно важного объекта. Это память о внешнем виде объекта и его местонахождении в пространстве. Она включает в себя зрительную, слуховую, осязательную, обонятельную, вкусовую память.
Словесно-логическая память	на словесные стимулы отражает как внешние объекты и события, так и внутренние переживания. Словесно-логическая память – ведущий вид памяти.
Смысловая	основывается на обобщениях и систематизированных ассоциациях запоминаемого материала.
Механическая	не опирается на осмысление запоминаемого материала.
Долговременная память	обуславливается структурно-химическими изменениями в нейроне, стабилизацией долговременных следов, обеспечивающих устойчивость к разным воздействиям и сохранение запоминаемого материала на длительное время, возможно, на всю жизнь. Отбор информации, входящий в долговременную память, связан с вероятностной оценкой его будущей применимости, предвидением будущих событий.

Трансформация памяти очень важна для преподавателей, с целью, чтобы компетенции, данные в РПД, были реализованы. Память позволяет студенту хорошо показать себя на собеседовании, вспомнив те виды информации, те проекты, которые он создавал в лаборатории в ВУЗе. В настоящее время система дуального образования не похожа на систему Завод-ВТУЗ, по причине нехватки часов на практику, часов на общение с производственниками, но при высокотехнологичной развитой системы видеовизуализации, возможно увеличить объем памяти студентов, напитав их знаниями и формами решения проектов, что компенсирует существующие непродолжительные сроки практик. Новые технологии приходят на смену старым и формирование остаточной памяти у студентов - главная задача при ведении курса, так как по теории психолога и педагога Блонского П.П. есть два ведущих вида памяти - долговременная и словесно-логическая память. И видеоподкасты и блоги формируют данные 2 вида памяти. На обучении теперь мало кто из студентов пишет ручкой, все слушают, и через время забывают. Но на помощь приходит YouTube и другие средства цифровизации, где вместо простых, бумажных отчетов по лабораторным работам, были введены подкасты и блоги в качестве защиты работ.

#### Список литературы

1. Ханнанова Д.Х. Социальное неравенство в системе высшего образования советского и постсоветского российского общества: диссертация ... кандидата социологических наук: 22.00.04. - Казань, 2005. - 178 с. : ил. РГБ ОД.
2. Волков С.С. Интеллектуальный слой в советском обществе // Красные холмы (альманах). М., 1999, с. 259.

3. Всероссийское совещание-конференция «Стратегия и структура подготовки инженеров для наукоемких отраслей - взгляд работодателей», 24 нояб. 2004 г. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана.

4. Доклад ректора МГТУ им. Баумана Л. А. Пучкова и проректора университета В. Л. Петрова. «О современном состоянии подготовки горных инженеров в российских вузах». Материалы Учебно-методического объединения (УМО) по высшему горному образованию. – М., январь 2005 г

5. ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 «Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ИСО 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части».

6. Интеграция производства в образовательные программы ВУЗов горного профиля/ Власов А.А., Жуков С.В., Власова Н.А., Епифанцев К.В. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 2. С. 241-251.

7. «Оценка введенных в лекционный и практический курс дисциплины «Метрология, стандартизация, сертификация» инструментов качества 5S»/ Епифанцев К.В., Сытько И.И.. Сборник трудов X Санкт-Петербургского конгресса «Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке»/Санкт-Петербург, ноябрь 2016, ФГБОУ «ПГУПС», с. 188-190

8. Блонский П. П. Проблема реальности у Беркли. — М.: «ЛИБРОКОМ», 2015.

9. Блонский П. П. Философия Плотина. — М.: «ЛИБРОКОМ», 2016.

10. Официальный сайт АНО «Россия-страна возможностей . Электронный ресурс »<https://профстажировки.рф/about/>. Время обращения 16.10.19

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ C# ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ**

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент,  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67  
Тел. 8(963)3437759  
E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

В настоящее время по гранту СП-2381.2018.1 «Создание виртуального измерительного комплекса на базе программного пакета National Instruments» в лаборатории университета ГУАП ведется разработка и тестирование специализированного программного обеспечения для автоматического распознавания промышленного вида отхода с последующей возможностью поиска технологии по переработке

Жизненный цикл изделия, который состоит из четырех важных элементных звеньев: разработка, испытание, эксплуатация, утилизация (ГОСТ 56136-2014) говорит о необходимости цифровизации каждого цикла при производстве и утилизации продукции военного назначения: "Утилизация - стадия ЖЦ, на которой осуществляется изменение целевого назначения или уничтожение изделий по причине невозможности или нецелесообразности их дальнейшего применения по основному назначению с обеспечением возможности вторичного использования таких изделий, либо материалов, полученных при их уничтожении (разборке)".

В настоящее время в области обучения сотрудников, задействованных в Военно-промышленном комплексе РФ прослеживаются недостатки в области разработки и внедрения новых и перспективных технологий, недостаточный уровень визуализации и цифровизации процесса обучения, от которых требуется эффективное поддержание функционирования системы эксплуатации и ремонта и утилизации авиационной техники.

Приоритетным направлением в переработке отходов является не только создание или модернизация технологии переработки, но и разработка программного обеспечения для моделирования установок и управления хозяйственной деятельностью аэропорта или производственной компании [1].

Переработка отходов является относительно молодой отраслью, которая начала развиваться с конца 1999 года, поэтому в этом секторе создан программный вакуум за счет минимального количества вовлеченных экспертов (программистов), большая часть которых имеет большие компетенции в области создания программного обеспечения в области машиностроения, моделирования процессов горной отрасли и систематизации продуктов питания.

До создания программной среды был проведен тщательный анализ имеющегося на рынке программного обеспечения. Современные средства разработки прикладного программного обеспечения для средств измерений обеспечивают небольшой выбор программ. Для управления системой удаления и утилизации отходов было выделено 6 программ, работающие как полноценная ERP-система, представлены в таблице 1. Можно сделать вывод, что большинство ИТ-приложений сосредоточено в области транспортировки отходов к месту складирования и сортировке, эта узкая направленность сводится к алгоритму – «быстро увезти и быстро закопать отходы» [2].

Выделим основные характеристики вышеуказанных программ, проведем их сравнение в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований сравниваемых программ

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

	Сравниваемые программы	Возможность геолокации	Возможность отчетности с налоговыми органами	Подсчет логистики	Выбор и описание процесса переработки	Конвертация с другими форматами документов	Приложение для смартфона	Обмен сообщениями между пользователями (чат)	Возможность создания персональных личных кабинетов пользователей
1	RG-SOFT: вывоз отходов RG-SOFT: переработка и утилизация отходов	-	+	+	-	-	-	-	-
2	1С: Предприятие 8. Управление отходами и утилизацией	-	+	+	-	+	-	-	-
3	Recycle Map	+	-	+	-	-	+	+	-
4	Siemens UMWELT	-	+	+	+	+	-	-	-
5	2Gis	+	-	-	-	-	+	+	+

В таблице программные продукты сравнивались по возможностям: геолокация, загрузка отчетов в налоговую службу, расчет логистики, выбор и описание процесса переработки, конвертер из других форматов, приложение для смартфонов (Google market), быстрый обмен сообщениями между пользователями (messenger), возможность создания личных учетных записей пользователей. В результате проведенного анализа можно сделать вывод: переработка является относительно молодой сферой промышленности и поэтому, как видно из вышеперечисленных программ в этой сфере, существует программный вакуум.

В процессе создания программного продукта нового поколения были учтены положительные и отрицательные качества всех программ, разобранных ранее в таблице 1. Основные принципы, которые были использованы при создании программной среды ЕСО-365 это ряд нормативных документов об обращении с отходами в РФ [3]:

- Федеральный классификатор отходов 2017-2018 гг;
- Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 15-2016;
- ГОСТ Р 54096-2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Взаимосвязь требований Федерального классификационного каталога отходов и Общероссийского классификатора продукции.

Программа ЕСО-365 является незаменимым помощником в области хранения, переработки и продажи отходов для оператора. В программе систематизированы электронные информационные ресурсы в области переработки отходов, разработан Java script прямого кода, адаптированный к современным требованиям Росприроднадзора. Метод поиска отходов максимально адаптирован в программном интерфейсе и визуально эргономичен для пользователей. В качестве пишущего приложения был использован язык Java Script language, который является объектно-ориентированным языком [4].

В программном продукте ЕСО-365 был разработан интерфейс с позиции работы с ним грамотного специалиста будущего, компетентного в области глубокой переработки отходов. Программа предлагает специалисту существующие технологии переработки. В исследуемой программе систематизированы электронные информационные ресурсы в области переработки отходов, разработан Java script прямого кода, адаптированный к современным требованиям Росприроднадзора. Метод поиска отходов максимально адаптирован в программном интерфейсе и визуально эргономичен для пользователей. В

качестве пишущего приложения был использован язык Java Script language, который является объектно-ориентированным языком.



Рис. 2 – алгоритм работы программного обеспечения "ЭКО-365"

Программа в виде приложения легко устанавливается на платформе Windows XP и запускается при условии если в папке находится база отходов в формате Excel (new data). На базу Росприроднадзора, которая представлена в виде электронных таблиц, опирается «движок» программы. Рассмотрим интерфейс программы. Прототипирование используется в языке обуславливает отличия в работе с объектами по сравнению с традиционными класс-ориентированными языками [5-6].

Основные поля программы, которые автоматически заполняются при указании любого вида отходов:

- Производство – в каком типе отрасли образуется отход
- Технологический процесс – при каком техпроцессе образуется отход
- наименование компонентов, содержание, % масс. – состав отходов
- Агрегатное состояние и физическая форма – в каком виде отход транспортируется
- Класс опасности – к какому классу от I до V относится отход
- Примечание – содержание дополнительных органических примесей

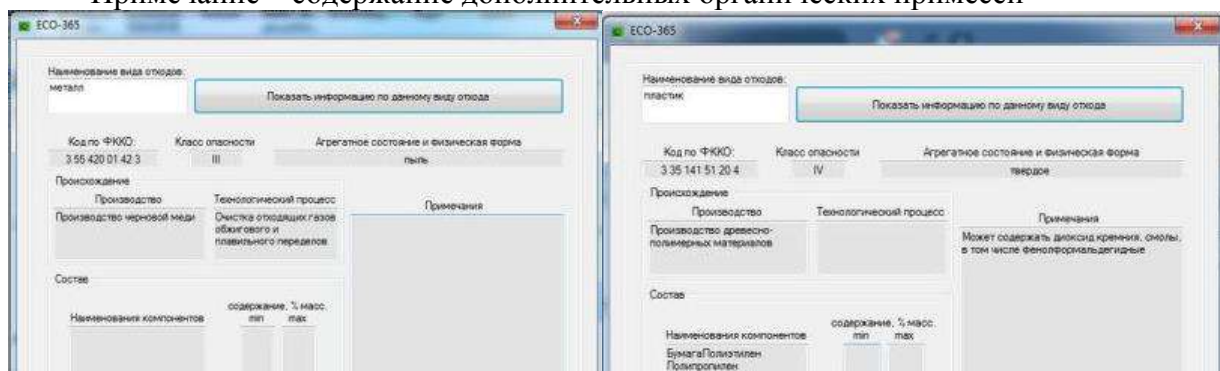


Рис. 3 – Пример окна программы для оценки и распределения отходов ECO-365, создание соответствия по категории «металл» и «пластик»

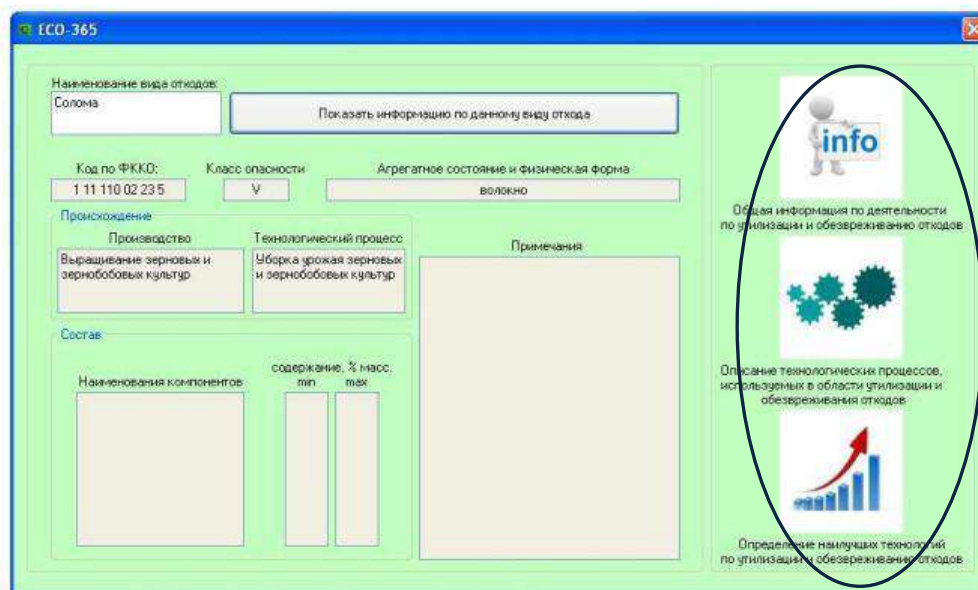


Рис 4 – Пример окна программы с дополнительно встроенными слева (обозначено овалом) источниками по описанию технологических процессов по переработке

Методика поиска отходов максимально адаптирована в программном интерфейсе и визуально эргономична для пользователей. Научно-техническая новизна исследуемого программного продукта заключается в использовании систем программной автоматизации и создания менеджмента в системе оборота с отходами с последующей возможностью моделирования цикла переработки отходов и возможностью реализации отходов через личные кабинеты пользователей, подключенных в сеть. В дальнейшем программа может быть расширена и в ней может быть представлена возможность входа в систему через аккаунт и, соответственно, будет возможность выкладывать на всеобщее обозрение список отходов, которое предприятие может предложить потенциальным покупателям.

### Список литературы

1. К.В. Епифанцев «Программа для адаптации технологии переработки коммунально-бытовых отходов ECO-365» Свидетельство о регистрации государственной программы для ЭВМ №2019611144 / Бюллетень № 2 от 22.01.2019
2. ГОСТ Р 54096-2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Взаимосвязь требований Федерального классификационного каталога отходов и Общероссийского классификатора продукции
3. Федеральный классификационный каталог отходов, утвержденный приказом МПР России от 02.12.2002 № 786, зарегистрированный Минюстом России 09.01.2003 № 4107. 6. Грунтоведение / Под ред. В. Т. Трофимова. М., 2005.
4. Систер В. Г., Мирный А. Н. Современные технологии обезвреживания и утилизации ТБО. М., 2003. 10. Дарулис П. В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. Смоленск, 2000.
5. К.В. Епифанцев. Разработка виртуальных инструментов для мониторинга отходов на базе Lab View и портала Eco 365// Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 419 с., стр. 52-57
6. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 15-2016.

## ЗАЩИТА ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ SCADA-СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ ГЕНЕРАТОРАМИ ШУМОВ

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент*  
*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*  
*190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67*  
*Тел. 8(963)3437759*  
*E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

Передача данных о производственном процессе на длительные расстояния реализуется путем создания генераторов определенного диапазона волн, работающих в условиях невозможности использования WI-FI сетей или мобильной связи. Подобные виды передающих устройств, для восприятия и моделирования которых используются традиционные SCADA системы Trace mode, Lab-view и другие находят применение при работе с удаленными филиалами предприятий - на автономных роботизированных линиях, на месторождениях нефти и газа, энергетических подстанциях и т.д. Одной из актуальных задач при передаче этого сигнала стоит создание систем защиты сигнала от потенциально возможных кибер угроз и уменьшения количества уже существующих помех, которые могут стать причиной задержки сигнала, а следовательно и низкой скорости реагирования при аварийных ситуациях. Генераторы шума из военной отрасли все чаще применяются в гражданских целях

Проблематикой темы является сложность в ориентирование и понимание механик конкретных видов электрических шумов. В научной литературе встречаются десятки названий видов электрических шумов. Чтобы ориентироваться в таком многообразии видов необходимо в каждом случае уметь четко определить, по какому признаку проводится классификация [1-2]. Однако из-за неоднозначности терминологии сделать это не всегда просто, поэтому актуальной задачей является проведение обзора основных подходов к классификации электрических шумов. Электрическими шумами называют беспорядочные изменения тока и напряжения в электронных приборах. Именно электрические шумы определяют в электронике пределы точности измерений, а также минимальные величины сигналов, которые могут быть обработаны [3].

Исследование является как никогда актуальным, ввиду не понижающегося спроса применения в устройствах ЭВМ и в целом высоким темпам развития электроники в будущей перспективе на несколько десятилетий. Так же стоит отметить, что количество методов снижения шумов в устройствах, а также их повышения помехоустойчивости становится все больше, чем самих шумов и видов помех и данная работа позволяет лучше понимать механику их действия, Таблица 1.

Таблица 1 – виды шумов в электроприборах

№	Вид шума в электроприборах	Характеристики
1	Фликкер-шум (шум мерцания, избыточный шум, шум типа 1/f).	наблюдается при прохождении через полупроводник постоянного тока, обусловлен флуктуациями плотности носителей тока и может значительно превышать уровень теплового и дробового шума.
2	Дробовой шум	наблюдается при дрейфе носителей тока под действием приложенного к полупроводнику электрического поля и



		обусловлен дискретностью электрического заряда, а также хаотичностью процессов генерации-рекомбинации основных носителей заряда в полупроводнике.
3	Гауссовский шум	имеет нулевое среднее значение и гауссову плотность вероятности.
4	Белый шум	спектре данного шума энергия равномерно распределена по всем частотам, как в спектре белого света.
5	Розовый шум	спектральная плотность данного шума описывается законом вида $1/f$ ( $f$ -частота). Шум со спектром вида $1/f$ называется еще фликкер-шумом, но если термин «розовый шум» относится только к виду спектра, то термин «фликкер-шум» относится также к физической природе шума.
6	Тепловой шум (шум Джонсона)	обусловлен хаотическим движением носителей тока и присутствует в любом элементе при ненулевой абсолютной температуре. Тепловой шум является неуменьшаемым видом шума.

Шумы являются случайными процессами, и к ним применяется классификация случайных процессов. В рассмотренной литературе чаще всего упоминается стационарность и эргодичность шумов. Многие шумы в полупроводниковых материалах и приборах (тепловой, дробовой, генерации-рекомбинации, диффузионный и другие) можно рассматривать как стационарные и эргодические процессы. Но есть и исключения. Например, фликкер-шум не является стационарным процессом.

В работах по снижению шумов генераторов электрических сигналов рассмотренные выше в Таблице 1 способы классификации применяются редко. Вместо этого используется классификация электрических шумов по внешнему проявлению с выделением амплитудного, частотного и фазового шумов, под которыми подразумевают, соответственно, беспорядочные изменения амплитуды, частоты и фазы сигнала. Поскольку любому изменению частоты сопутствует изменение фазы, часто наряду с амплитудным рассматривают только частотный или только фазовый шум [4-5].

При помощи электронного пакета среды программирования NI LabVIEW, для более наглядного примера работы создадим макет генератора шума с применением гауссовского шума (Gaussian White Noise) с нормальным и равномерным распределением сигнала на выходе, а также встроенную возможность вычисления статистических характеристик сигнала.

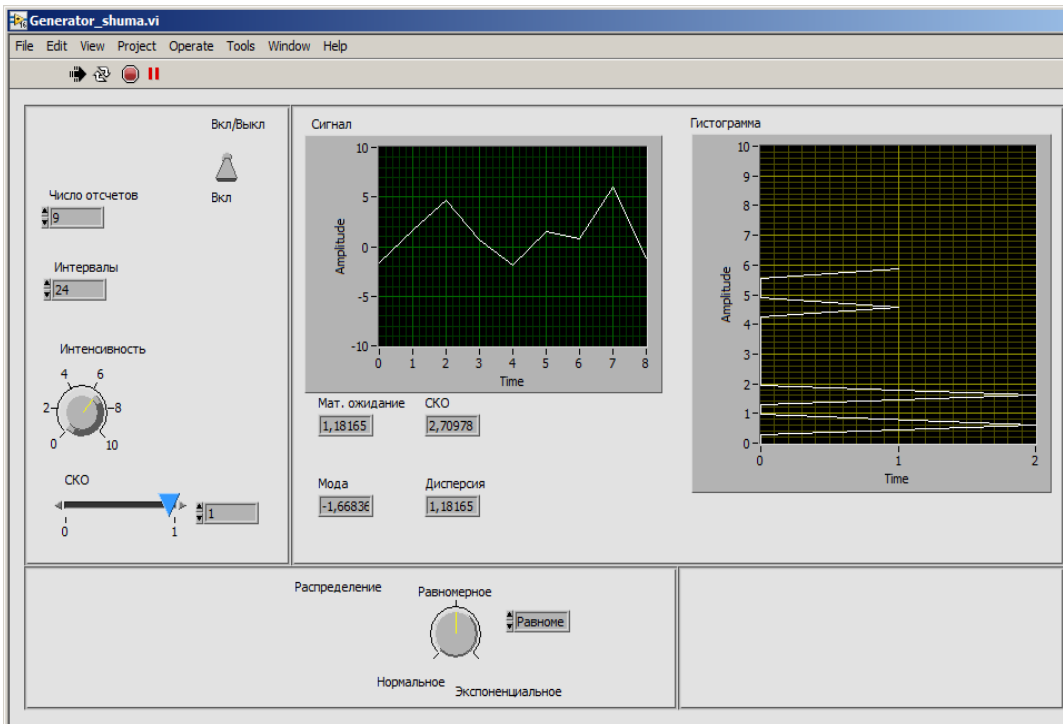


Рис. 1 Скриншот лицевой панели разработанного гауссовского генератора шума  
На разработанном приборе были введены следующие тумблеры управления генератором шума: включение- выключение, число отсчетов, интервалы, интенсивность, средне-квадратичное отклонение, математическое ожидание, мода, дисперсия, вид распределения. Эти многочисленные параметры могли регулироваться.



Рис. 2 Блоки диаграмм формы выходного сигнала и гистограммы случайного процесса

На рисунке 2 виден сигнал в виде линейной функции, который за 8 секунд колеблется в диапазоне высоты волны от -2 до +6. Что свидетельствует о возможности произвольно вести имитацию переговоров, что используется в процессе шифрования защищенных каналов связи и ложных помех. На практике генераторы шума применяются для защиты от возможного прослушивания беспроводными микрофонами и диктофонами. При включении генератора шума не могут осуществлять работу беспроводные и проводные микрофоны, диктофоны, как цифровые, так и оснащенные миникассетами, стетоскопы и лазерные приборы для считывания информации [6].

Генераторы создают специальные сигналы, в виде шумов и помех. Такие сигналы способны заглушить различные звуки в своих диапазонах, это способствует тому, что на

записывающих устройствах сохраняется некачественная информация, которую очень сложно обработать и распознать. Таким образом, при включенном генераторе происходит скремблирование данных. Основная суть данной методики заключается в том, что информация, которая передается по телефонной линии, сначала шифруется, а затем дешифруется.

Реальным аналогом генератора шума можно привести генератор шума ГШ-1000М предназначенный для маскировки информативных побочных электромагнитных излучений и наводок персональных компьютеров, рабочих станций компьютерных сетей и комплексов на объектах вычислительной техники путем формирования и излучения в окружающее пространство электромагнитного поля шума в широком диапазоне частот. Один генератор обеспечивает маскировку до 40 кв. м [7].

Созданный макет наглядно показывает работу генератора шума с нормальным и равномерным распределением сигнала на выходе, а также встроенным в ВИ возможность вычисления статистических характеристик сигнала, показывает базовую логику его работы. Был проанализирован принцип работы генератора шума, его применение в различных сферах деятельности, а также реальные аналоги. Для низкочастотного диапазона оправдано применение в качестве первичного источника шума псевдослучайных последовательностей. Для преобразования такого шума в аналоговый достаточно подключить к выходу фильтр нижних частот с соответствующей частотой среза [6]. Получение аналогового шума из последовательности псевдослучайных чисел имеет ряд преимуществ: стабильность такого шума выше, появляется возможность получить шум с заданным спектром и амплитудой, повторяемый шум [4].

По итогу можно сказать, что данный проведенный анализ основных подходов и классификации электрических шумов позволит лучше ориентироваться в терминологии, понимании работы и происхождения шумов, а актуальность этой темы будет только возрастать в виду развития информационных технологии и интернета, когда повсюду возможны утечки данных, а также же повсеместного применение аудио и радио аппаратуры где важна чистота сигнала. Улучшение же этого направления имеет путь дальнейшего улучшения технологии и соответствующего создания новых способов генерации и фильтрации.

### Список литературы

1. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М. : Мир, 1986. 398 с.
2. Гусев А. П., Каплун З. Ф. Экспериментальное исследование высокочастотных кварцевых генераторов // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1989. Вып. 9. С. 14–17.
3. Ри-Бак-Сон. Исследование низкочастотного автогенератора СВЧ // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1983. Вып. 5. С. 26–27.
4. А.А. Бокунев, Н.М. Борисов и др.; Справочная книга радиолюбителя-конструктора: Под ред. Н.И. Чистякова. - М.: Радио и связь, 1990г. Дьяконов, В. П. Генерация и генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. - М.: ДМК Пресс, 2009. - 384 с.
5. Гребенюк, К. А. Основные виды шумов в электронных полупроводниковых приборах / К. А. Гребенюк // Известия Саратовского университета. - 2012. - Т. 12. - С. 63-65.
6. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. - Справочник. В 3-х т. - Т. 2. - М. : ИП РадиоСофт, 1999. - 640 с.
7. В.Е. Арбузов Д.В. Баронова А.Л. Борзенко, К.В. Епифанцев . Создание виртуального генератора шума при помощи пакета LABVIEW //Иновационные технологии в машиностроении : сборник трудов X Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – С 72-76

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ШНЕКА И МУФТЫ ШНЕКОВОЙ МАШИНЫ

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения*

*190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67*

*Тел. 8(963)3437759*

*E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

В статье рассматриваются исследование уменьшения вредного влияния отходов на окружающую среду путем увеличения ресурсного срока службы машин для брикетирования. Ресурсы для возможностей брикетирования в Ленинградской области представлены на Рис. 1



Рис.1. – Схематичное представление отходов

Одним из основных конструктивных элементов машины для формирования окускованного топлива является шнек и муфта. Высокие адгезионные свойства отходящей пасты часто становятся причиной заштыбовывания материала в зоне уплотнения и в зоне перемещения сформованной пасты корпуса машины, после чего машина в большинстве случаев автоматически отключается частотным преобразователем с целью противодействия поломке двигателя. Это становится причиной простоев на производстве и перебоев в качестве готовой продукции. В шнековой машине увеличение расхода массы требует увеличения скорости шнека, и соответствующего увеличения загрузки шнека материалом.

Шнек сжимает массу до точки накопления т.  $P_n$ , после которой, возникает возможность создать давление  $p_1$ , необходимое для прохода массы через матрицу (рис. 5.2). Только тогда, когда есть баланс с обеих сторон экструдера, масса может выходить из фильер матрицы. Однако, если условно разбить экструдер на 4 зоны работы, в момент нарастания давления  $P$ , МПа и возникновения максимальной загрузки шнека  $p$  кг/м<sup>3</sup> создается максимальная площадка давления (на рис 1 зона «2»), которая способна деформировать шнек.

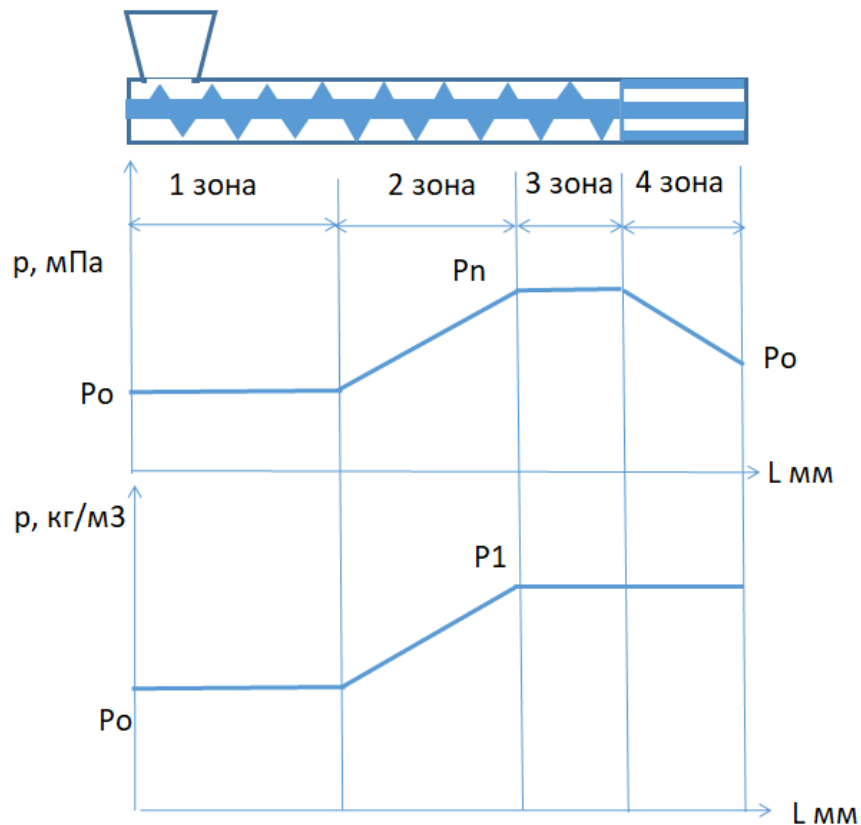


Рис. 2. Схема функционирования экструдера

В шнековой машине увеличение расхода массы требует увеличения скорости шнека, и соответствующего увеличения загрузки шнека материалом. При этом давление (рис. 1) повышается до  $P_n$ , поскольку увеличенные скорости подачи приводят на той же самой матрице к увеличенному трению в фильерах матрицы, что неблагоприятно сказывается также как максимально абразивный участок для витков шнека. При технологии изготовления шнека – сварке витков к валу с помощью сварки в  $CO_2$  наблюдались трещины и отслоения витков шнека



Рис. 3 – Дефекты шнека – разрывы

В ходе проведения операции по формованию RDF сырья было принято что на шнек экструдера действуют следующие нагрузки: крутящий момент на валу муфты, создаваемый двигателем - 5000 Н. Температура нагрева сырья внутри экструдера достигает  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Необходимо определить зоны с наибольшим скоплением нагрузки, перемещения, деформации.



Рис. 4. Шнек. Разбиение шнека на сетку по методу конечных элементов с указанием силы действия на шнек. На выделенном участке действие силы в размере 5 000 Н.

Результаты трехмерного моделирования и испытаний в Cosmos Works представлены по расчету методу конечных элементов

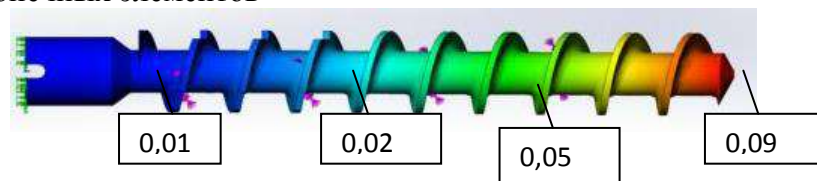


Рис. 5 - Максимальное статическое перемещение, мм

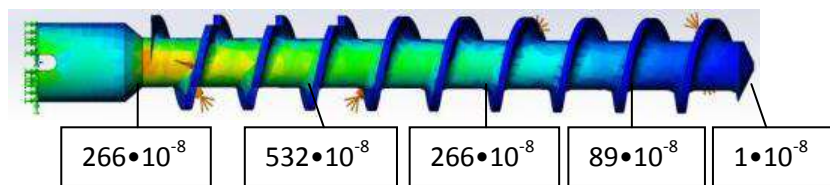


Рис. 6 - Эквивалентная деформация ESTRN

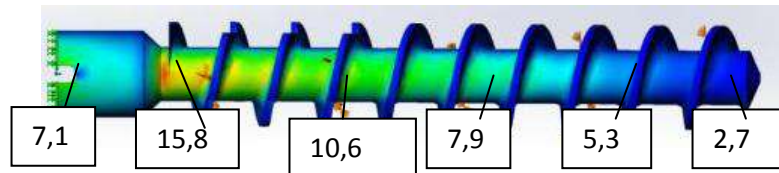


Рис. 7 Проверка на напряжение по Мизесу кгс/см<sup>2</sup>

Таблица 1 – Результаты испытаний

Витки на шнеке	1(заход)	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение, кг/см <sup>2</sup>	26,4	16	15,8	13,2	10,6	7,9	5,3	2,7	0
Перемещение, мм	0	0,005	0,015	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,09
Деформация, кгс	886·10 <sup>-8</sup>	520·10 <sup>-8</sup>	500·10 <sup>-8</sup>	530·10 <sup>-8</sup>	532·10 <sup>-8</sup>	320·10 <sup>-8</sup>	266·10 <sup>-8</sup>	89·10 <sup>-8</sup>	4·10 <sup>-8</sup>

Таким образом, напряжение и деформация обратнопропорциональны перемещению, что доказывает максимальный коэффициент давления на шнеки в данной области. Следовательно, 7 и 8 витки необходимо проваривать с дополнительным ребром жесткости с целью компенсации напряжений.

Результаты испытаний представим в виде наглядных графиков.

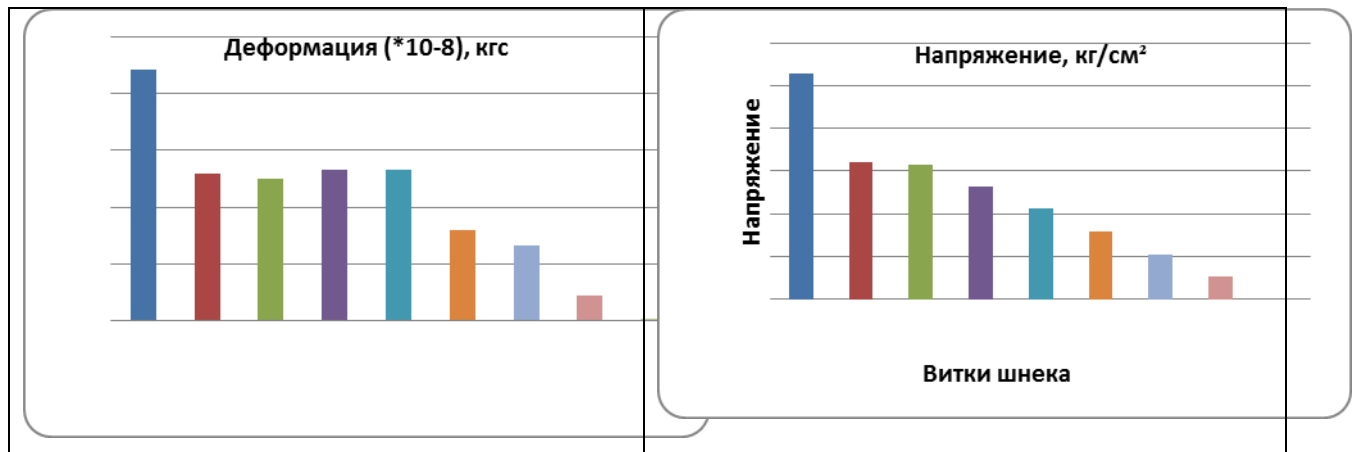


Рис. 8 - Результаты испытаний шнеков для переработки отходов

Также был проведен анализ соединительной муфты, передающее вращение от вала редуктора до шнека, несущей первичную энергию через кручение. При этом были выбраны следующие свойства металла в Solid Works

Таблица 2 – Свойства легированной стали, взятой для испытания шнека и муфты

№	Наименование свойства	Выходные данные
1	Коэффициент Пуансона	0,28
2	Массовая плотность	7700кг/м <sup>3</sup>
3	Предел прочности при растяжении	723 825,6 кН/м <sup>2</sup>
4	Предел текучести	640 422 кН/м <sup>2</sup>

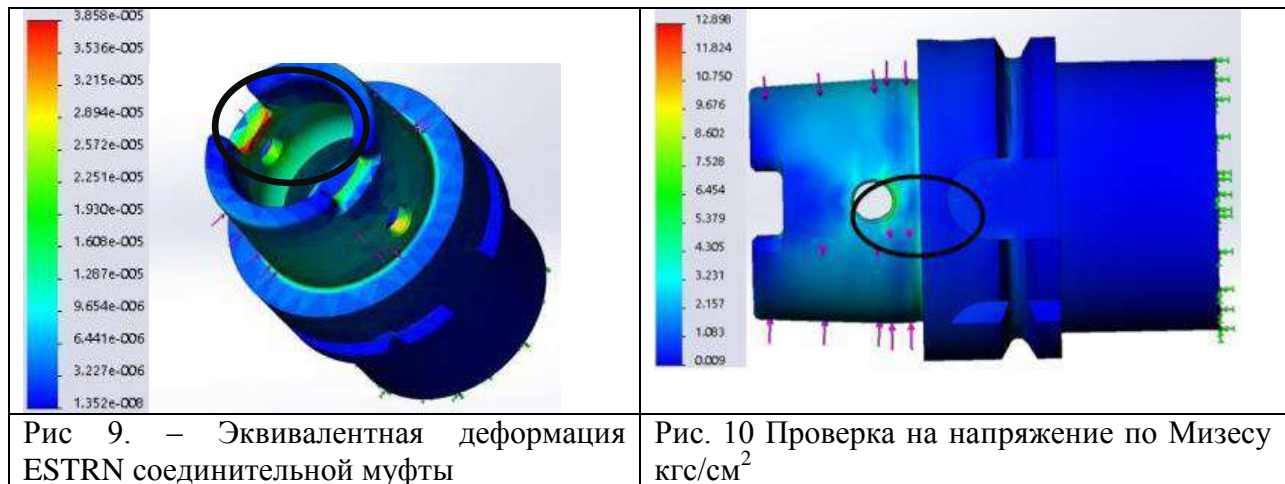


Рис 9. – Эквивалентная деформация ESTRN соединительной муфты

Рис. 10 Проверка на напряжение по Мизесу кгс/см<sup>2</sup>

В результате исследования можно сделать вывод - от формы входной части фильеры матрицы во многом определяется противодействие прессуемого материала, а следовательно и затраты на работу шнека, приводимого в движение валом, соединяющегося через муфту с валом редуктора. Необходимым элементом, нуждающимся в постоянной диагностике в шнековой машине являются элементы по анпряжению и деформации на шнеке – 1 заходный виток шнека, в муфте наиболее уязвимым является отверстие под стопорную шпоку, отмеченное на Рис 9 и Рис 10 черным овалом. При производстве машин подобного класса необходимо обратить внимание на дополнительное упрочнение вышеупомянутых элементов шнека и муфты.



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

- 1 Амерханов, Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. М.: Колос. 2000. 159-238.
- 2 ГОСТ Р 54096-2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Взаимосвязь требований Федерального классификационного каталога отходов и Общероссийского классификатора продукции
- 3 К.В. Елифанцев. Разработка виртуальных инструментов для мониторинга отходов на базе Lab View и портала Есо 365// Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 419 с., стр. 52-57
- 4 Badu, S.P., Bain, R.L., Craig, K. Thermal gasification of Biomass technology development in U.S.A. // Seminar on Power Production from biomass II. Espoo, Finland, 27-28 march – 1995.
- 5 Wood chips for energy production. Technology Environment-Economy // The Centre of Biomass Technology (Denmark) – 1993.
- 6 Salo, K., Keranen, H. Biomass IGCC // Seminar on Power Production from biomass II. Espoo, Finland, 27-28 march. – 1995.
- 7 7-th European Conference on Biomass for Energy and Environmental, Agricultural and Industry Abstracts. Florence. – 1992.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОРЕЗИСТОРА ТИПА ТСП ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО УЛУЧШЕНИЯ ПОРОГА ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

*Епифанцев К.В. к.т.н., доцент*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

*190000, г. Санкт-Петербург ул. Большая Морская 67, тел 8(963)343-7759*

*E-mail: epifancew@gmail.com*

Терморезисторы имеют широкое распространение при проектировании систем дистанционного измерения температуры внутри машин и механизмов.

В данной статье представлены методы определения зависимости сопротивления термопреобразователя с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) от температуры. В первую очередь порог чувствительности данных датчиков ограничен чувствительностью термопреобразователя при конверсии температуры в электрический сигнал. Сегодня отечественные предприятия изготавливают различные типы термопреобразователей, однако современная тенденция развития данных датчиков выделяет ряд недостатков: необходимость контроля температуры холодных спаев из-за измерения температуры блока холодных спаев с помощью встроенного термистора или полупроводникового сенсора и автоматическое введение поправки к измеренной ТЭДС. Также причиной уменьшения точности измерений может быть возникновение термоэлектрической неоднородности в проводниках и, как следствие, изменение градуировочной характеристики из-за изменения состава сплава в результате коррозии и других химических процессов. Основным материалом для преобразователей являются чистые металлы (в основном это платина, медь и никель). Лучшим материалом является платина. Зависимость сопротивления от температуры близка к линейной. Диапазон измерения температур  $-280...+1000^{\circ}\text{C}$ . Для термисторов (полупроводниковых ТР) характерны малые размеры, малая инерционность и высокая чувствительность, но худшая стабильность.

Выбор материала преобразователя зависит от требований его химической инертности и пределом изменения температуры. Так медный - от  $-50$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ , никель до  $300^{\circ}\text{C}$ , наилучшими свойствами обладает платина - инертна, от  $-200$  до  $+650^{\circ}\text{C}$ .

По используемому материалу они делятся на платиновые (ТСП- термометр сопротивления платиновый) и медные (ТСМ). Диаметр используемой платиновой проволоки  $0,05...0,07$  мм, медной  $0,1$  мм. Термометры выпускаются со строго определенными значениями сопротивлений. Наиболее распространенные медные 50М и 100М, платиновые - 50П и 100П (50, 100 Ом при  $0^{\circ}\text{C}$ ).

В данной работе будут проведены исследования термопреобразователей ТСП (Рис. 1).



Рис 1. - Комплект термопреобразователя платинового ТСП

Принцип действия терморезисторов основан на изменении сопротивления в зависимости от температуры. Термопреобразователи сопротивления являются неотъемлемой частью датчиков для автоматизированной системы глобальных производств: контроля металлургических процессов, процессов литья пластмасс, приготовления пищевой продукции, охлаждения частей машин. Все типы производств, использующие в своем технологическом цикле устройства для расплава, спекания или охлаждения, оснащаются измерительными преобразователями, способными дистанционно контролировать температуру нагревателя. Термопреобразователи представляют собой тонкую платиновую нить, намотанную на специальный слюдяной корпус, вмонтированную в каналы защитного корпуса. Схема исследуемого образца представлена на рис. 1. Чувствительный элемент состоит из 2-х последовательно соединенных платиновых спиралей, к которым припаяны платиновые выводы 3. Керамический каркас представлен на позиции 2. Крепление платиновых спиралей и выводов в каркасе осуществляется глазурью 4, из оксидов алюминия и кремния. Подгонка номинального сопротивления чувствительного элемента  $R_0$  при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  осуществляется плавным уменьшением длины противоположных концов платиновых нитей с последующей пайкой в точке 5.

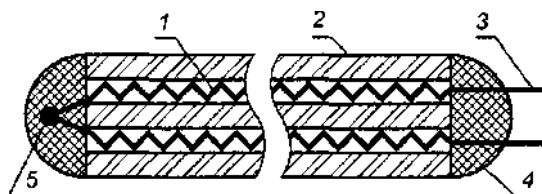


Рис 2. Схема устройства платинового термометра сопротивления П.Г. Стрелкова.

1 – каркас; 2 – платиновая спираль; 3 – выводы; 4 – оболочка.

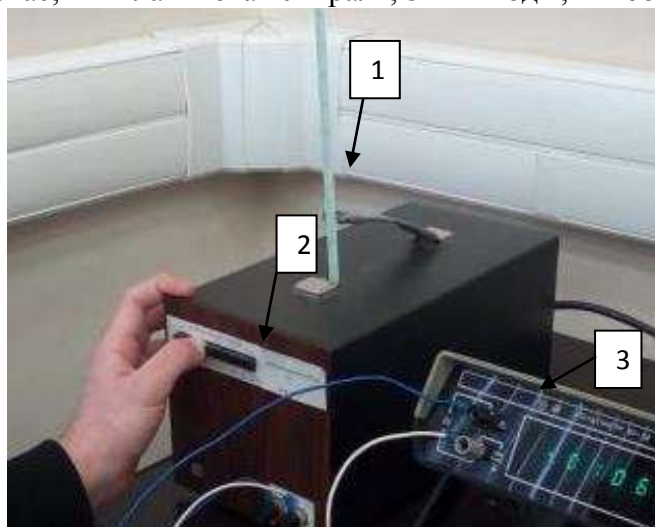


Рис 3. Измерительная установка по испытаниям термопреобразователей в которой: 1- ртутный термометр, 2 - установка с несколькими типами терморезисторов и встроенным нагревателем, 3 - омметр

Измерения проводились в аудитории ФБУ «Тест Санкт-Петербург» университета ГУАП на установке, изображенной на рис 1. В ходе проведения измерений была получена следующая совокупность экспериментальных данных:

Таблица 1. Экспериментальные данные

№ п/п	Температура в термостате, $^{\circ}\text{C}$	Сопротивление термопреобразователя $R_t$ , Ом
1	30	111,85331

2	35	113,82124
3	40	115,78231
4	45	117,74111
5	50	119,70301
6	55	121,65290
7	60	123,60246
8	65	125,55321
9	70	127,50112
10	75	129,44289

В промышленности принято использовать отдельные аппроксимации для низких и высоких температур, а именно в двух диапазонах: от -200 до 0°C и от 0 до 630°C. Рассмотрим последний диапазон. Каллендар ван Дасен предложил следующее аппроксимационное выражение для передаточной функции платинового детектора в диапазоне высоких температур:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

где  $R_t$  – сопротивление термопреобразователя, Ом;  $R_0$  – номинальное сопротивление термопреобразователя, Ом, при температуре 0°C; коэффициенты  $A$  и  $B$  определяются свойствами платины (их определение и есть основная задача аппроксимации экспериментальных данных).

Так как аппроксимирующая функция является параболой (количество точек, через которые можно провести лишь одну параболу, равно трём), то для нахождения коэффициентов  $R_0$ ,  $A$  и  $B$  необходимо решить систему трёх линейных уравнений относительно этих коэффициентов:

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_0(1 + At_1 + Bt_1^2), \\ R_{t_2} = R_0(1 + At_2 + Bt_2^2), \\ R_{t_3} = R_0(1 + At_3 + Bt_3^2). \end{cases}$$

где  $R_{t_1}$ ,  $R_{t_2}$ ,  $R_{t_3}$  – сопротивление термопреобразователя при температуре  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  соответственно. После некоторого преобразования можно записать

$$\begin{cases} R_0 + AR_0 t_1 + BR_0 t_1^2 = R_{t_1}, \\ R_0 + AR_0 t_2 + BR_0 t_2^2 = R_{t_2}, \\ R_0 + AR_0 t_3 + BR_0 t_3^2 = R_{t_3}, \end{cases}$$

Запишем данную систему уравнений в матричном виде

$$\begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ 1 & t_3 & t_3^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_0 \\ AR_0 \\ BR_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{t_1} \\ R_{t_2} \\ R_{t_3} \end{pmatrix},$$

для полученных экспериментальных данных

$$\begin{aligned} R_0 &\approx 99,982433 \approx 99,98243 \text{ Ом} \\ A &= \frac{AR_0}{R_0} \approx \frac{0,397622}{99,982433} \approx 3,97692 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ B &= \frac{BR_0}{R_0} \approx \frac{-6,421777 \cdot 10^{-5}}{99,982433} \approx -6,42291 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты со значениями из ГОСТ 6651-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний»  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $A = 3,9690 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и  $B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ , видно, что погрешность экспериментально полученных значений невелика, и в данном случае для определения сопротивления термопреобразователя имеем следующее аппроксимирующее уравнение

$$R_t = 99,98243 \cdot (1 + 3,97692 \cdot 10^{-3}t - 6,42291 \cdot 10^{-7}t^2)$$

Составим сравнительную таблицу экспериментальных данных и данных, полученных с помощью аппроксимирующего выражения.

Таблица 2. Сравнительная таблица экспериментальных значений и значений аппроксимации

№ п/п	Температура в термостате, °С	Сопротивление термопреобразователя $R_t$ (эксперимент), Ом	Сопротивление термопреобразователя $R_t$ (аппроксимация), Ом
1	30	111,85331	111,85330
2	35	113,82124	113,82054
3	40	115,78231	115,78457
4	45	117,74111	117,74538
5	50	119,70301	119,70299
6	55	121,65290	121,65739
7	60	123,60246	123,60857
8	65	125,55321	125,55655
9	70	127,50112	127,50131
10	75	129,44289	129,44286

Как видно из таблицы отклонение численных данных от опытных невелико. Проиллюстрируем графически полученный результат.

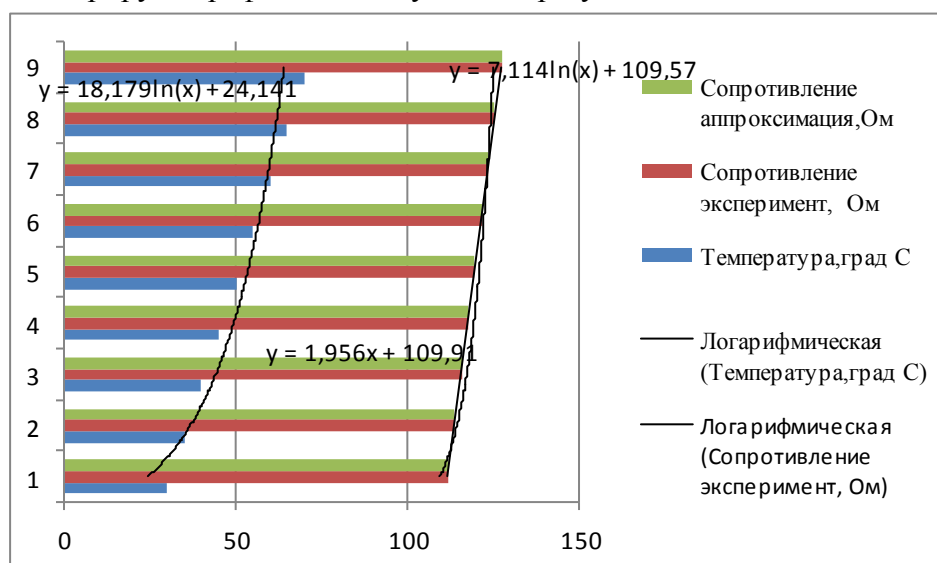


Рис 4. График зависимости сопротивления  $R_t$ , Ом, термопреобразователя от температуры  $t$ , °С

Точками на графике изображены экспериментальные значения, а прямой линией – аппроксимирующие. Из данного графика видно, что функциональная зависимость между температурой и сопротивлением достаточно линейна. Это обусловлено очень малым значением коэффициента  $B$  при квадратном члене полинома, который обуславливает квадратичную зависимость, по сравнению с коэффициентом  $A$  при члене первой степени, который обуславливает линейную зависимость.

Рассмотрим ещё один параметр, характеризующий работу термопреобразователя сопротивления, а именно, температурный коэффициент термопреобразователя сопротивления  $\alpha$ . Он показывает относительное приращение сопротивления термопреобразователя при изменении температуры на единицу или, другими словами, температурный коэффициент  $\alpha$  выражает в процентах изменение абсолютной величины

сопротивления при изменении температуры на 1°С. В общем виде определяется по формуле

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{dR_t}{dt}, C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} \cdot 100, \%$$

Для расчётного метода по экспериментальным данным используется приближённая формула

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{\Delta R_t}{\Delta t}, C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} \cdot 100, \%$$

где  $R_t$  – сопротивление термопреобразователя, Ом;  $dR_t$  – дифференциал сопротивления термопреобразователя, Ом;  $dt$  – дифференциал температуры, °С;  $\Delta R_t$  – приращение сопротивления термопреобразователя, Ом;  $\Delta t$  – приращение температуры, °С.

В случае, если график, построенный по экспериментальным значениям, достаточно линейный, то возможно использовать первую группу формул, найдя производную этой линейной зависимости, так как в данном случае и первая и вторая группы формул идентичны. Для нахождения ТКС  $\alpha$  по аппроксимирующей зависимости воспользуемся первыми двумя формулами, а для нахождения ТКС  $\alpha$  по опытным данным – последними двумя. Найдём производную от

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

$$(R_t)'_t = [R_0(1 + At + Bt^2)]'_t =$$

$$= R_0(A + 2Bt),$$

тогда для имеющейся аппроксимирующей функции получим:

а) в начале полученной характеристики

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_1}} \frac{dR_t}{dt} = \frac{1}{111,85330} \cdot 99,98243 \cdot$$

$$\cdot (3,97692 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 6,42291 \cdot 10^{-7} \cdot 30) \approx 3,52041 \cdot 10^{-3}, C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_1}} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} \cdot 100 \approx 0,352, \%$$

б) в конце полученной характеристики

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_{10}}} \frac{dR_t}{dt} = \frac{1}{129,44286} \cdot 99,98243 \cdot$$

$$\cdot (3,97692 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 6,42291 \cdot 10^{-7} \cdot 75) \approx 2,99738 \cdot 10^{-3}, C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_{10}}} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} \cdot 100 \approx 0,3, \%$$

То есть для полученного аппроксимирующего полинома ТКС  $\alpha$  будет изменяться в пределах от  $\approx 0,352, \%$  до  $\approx 0,3, \%$  в диапазоне температур от 30 до 75, °С.

Найдём ТКС  $\alpha$  по экспериментальным значениям. Так как график, построенный по экспериментальным значениям, является вполне линейным, то мы можем найти производную по температуре этой линейной зависимости, а затем вычислить ТКС

а) в начале полученных данных

$$\alpha \approx \frac{1}{R_{t_1}} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = \frac{1}{R_{t_1}} \cdot \frac{R_{t_{10}} - R_{t_1}}{t_{10} - t_1} = \frac{1}{R_{t_1}} \cdot \frac{129,44289 - 111,85331}{75 - 30} =$$

$$= \frac{0,39088}{R_{t_1}} = \frac{0,39088}{111,85331} \approx 3,49458 \cdot 10^{-3}, C^{-1}$$



или

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_1}} \cdot 100 \approx 0,349, \%$$

б) в конце полученных данных

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_{10}}} = \frac{0,39088}{129,44289} \approx 3,01971 \cdot 10^{-3}, \text{C}^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_1}} \cdot 100 = \frac{0,39088}{129,44289} \cdot 100 \approx 0,302, \%$$

То есть для полученных экспериментальных данных ТКС  $\alpha$  будет изменяться в пределах от  $\approx 0,349, \%$  до  $\approx 0,302, \%$  в диапазоне температур от 30 до 75, °С. Сравнивая полученные разными методами значения – по аппроксимирующему полиному и экспериментальным данным, видно что они отличаются между собою в районе четвёртого знака после запятой, что является приемлемым, поэтому для приближённых расчётов ТКС можно представлять зависимость сопротивления платинового термопреобразователя от температуры в виде линейной функции и пользоваться формулой

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \cdot \frac{R_{t_n} - R_{t_1}}{t_n - t_1},$$

где  $R_t$  – сопротивление термопреобразователя, Ом;  $R_{t_1}$  – сопротивление термопреобразователя, Ом, при температуре начала измерений  $t_1$ , °С;  $R_{t_n}$  – сопротивление термопреобразователя, Ом, при температуре окончания измерений  $t_n$ , °С.

В ходе проведения исследования была изучена статическая характеристика платинового термопреобразователя с положительным ТКС. Было выяснено, что для приближённых расчётов удобно представлять зависимость электрического сопротивления термопреобразователя от температуры в виде линейной функции, если же поставленная задача требует более точных результатов расчётных данных, то необходимо представлять статическую характеристику платинового термопреобразователя в виде полинома второй степени и методами, изложенными выше, аппроксимировать совокупность экспериментальных точек в данном диапазоне измерений.

### Список литературы

1. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Э.Д. Мэклин Термопреобразователи: Пер. с англ./Под общей редакцией К.И. Мартюшова. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с., ил.
3. В.П. Преображенский Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». – 3-е изд., перераб. – М.: «Энергия», 1978. – 704 с., ил.
4. Датчики теплофизических и механических параметров: Справочник в трех томах. Т. 1 (Кн. 1) / Под общ. ред. Ю.Н. Коптева. М.:ИПРЖР, 1998.
5. Суханова Н.Н., Суханов В.И., Хасиков В.В., Юровский А.Я. Полупроводниковые термопреобразователи с расширенным диапазоном рабочих температур // Датчики и системы 1999. № 7—8.
6. Термочувствительное защитное устройство-термистор. Электронный ресурс <http://17805cv.ru/resistor-termoresistor.html>. Время обращения 10.10.19
7. Зотов В. Z-термисторы — новый класс температурных сенсоров//Chip News, №1, 1999.
8. Зотов В. Полупроводниковые многофункциональные сенсоры широкого применения (z-сенсоры)//Chip News , №4, 1998.
9. Зотов В., Кравченко А., Миронова П. Z-термисторы в режиме генератора импульсов//Chip News , №1, 2001.



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

10. NTC temperature sensors//Philips. Electronic components and materials, 1985.

11. Шифтель И., Текстер-Проскуракова Г., Лейкина Б. Позисторы//Радио, №3, 1971.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ LABVIEW И PROTEUS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА**

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент, Т.П. Мишура, к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67  
Тел. 8(963)3437759  
E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

Для визуального наблюдения и исследования электрических процессов колебаний любой формы используют осциллографы. Осциллограф – это измерительный прибор, позволяющий определить временные параметры и значения напряжения сигнала (его амплитуду), выводя изображение исследуемого сигнала на экран. Измерив временные характеристики сигнала, можно вычислить его частоту, наблюдать сдвиг фаз, который происходит при прохождении различных участков цепи, наблюдать искажение сигнала, вносимые каким-то участком цепи, можно выяснить постоянную и переменную составляющие сигнала [1]. На сегодняшний день очень часто возникает потребность, как в научных экспериментах, так и на любительском уровне в визуализации электрического сигнала и определении его параметров. Электрические процессы, протекающие в цепях радиоэлектронных устройств, часто весьма сложны и характеризуются большим числом параметров, не все из которых можно непосредственно измерить другими измерительными приборами, особенно учитывая вопрос стоимости данных приборов. Поэтому часть измерений возможно сделать более визуальными и доступными широкому кругу специалистов, если применить виртуальный прототип прибора

В данный момент условия таковы, что цена на осциллографы не позволяет иметь их каждому желающему, особенно на любительском уровне, вне крупных предприятий. Это делает актуальной разработку осциллографов на основе микроконтроллера, что значительно удешевляет производство измерительного прибора, а также уменьшает его габариты, надёжность и ремонтпригодность, уменьшает подверженность влиянию негативным факторам окружающей среды в сравнении с аналоговыми и цифровыми приборами, реализованными на сегодняшний день, благодаря упрощению конструктивного исполнения. Также благодаря микроконтроллеру есть возможность усовершенствования прибора, повышения автоматизации путём перепрограммирования микроконтроллера и т.д.

Осциллографический метод подразделяется на цифровой и аналоговый. Среди них, стоит выделить цифровые, из-за ряда их преимуществ таких как возможность записи и обработки сигналов, а также передачи информации на удалённые устройства, что создаёт перспективы образования с помощью других обрабатывающих цифровых устройств и средств измерений информационных измерительных систем и комплексов. Среди цифровых осциллографов стоит выделить виртуальный осциллограф, который является удобным и понятным устройством, простым в реализации.

Индикатором осциллографа является экран электронно-лучевой трубки. Она обладает одним недостатком - при изменении напряжения на фокусирующем электроде изменяется и яркость светящегося пятна на экране трубки. Происходит это потому, что изменение напряжения на фокусирующем электроде приводит к изменению электростатического поля между ним и управляющим электродом. Этот недостаток устраняют введением еще одного электрода в виде длинного цилиндра с перегородками, который электрически соединяют с анодом. Благодаря этому электроны почти не попадают на фокусирующий электрод, его ток становится близким к нулю и регулировка яркости получается

независимой от фокусировки луча. Так, в частности, устроена и электронно-лучевая трубка 5J1038, на которой собран описываемый в статье экспериментальный осциллограф.

Осциллографы, работающие по принципу цифрового измерения и отображения сигнала, построены на принципе оцифровке сигналов через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Цифровые осциллографы, в отличие от аналоговых, не повторяют получаемый сигнал сразу на экран, а предварительно его преобразовывают в "цифровую" форму. Таким образом, искажения минимальны, а это переход на новый уровень корректировки изображения осциллограммы. Для этого входной сигнал замеряется определённое число раз в секунду, затем прибор после некоторых преобразований этих данных реконструирует сигнал и отображает его на экране [2-3].

На рисунке 1 показана структурная схема цифрового осциллографа.

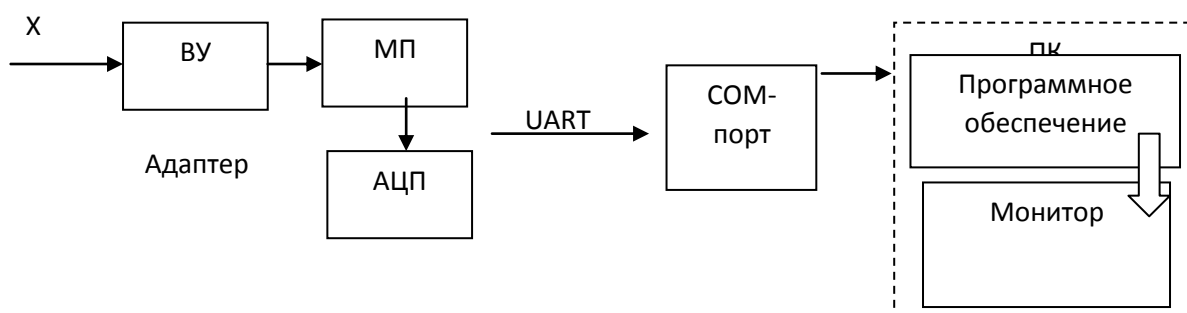


Рис. 1- Структурная схема цифрового осциллографа

На рисунке 1 изображается обработка сигнала в осциллографе. Сигнал поступает на входное устройство (ВУ) осциллографа (щупы), далее с помощью масштабных преобразователей (МП), представленных делителями напряжения, изменяется таким образом, чтобы соответствовать допустимому значению напряжения на АЦП микроконтроллера. Поступая на него, сигнал оцифровывается, проходя дискретизацию по времени и квантование по уровню. Далее, с помощью интерфейса UART, связывающего адаптер и ПК через COM-порт передаётся закодированное значение сигнала и выводится на экран компьютера с помощью программы LabVIEW.

Новый вид приборов может быть отдельным устройством с параллельным портом для вывода или ввода информации, а также с портом USB, а также встроенным вспомогательным прибором на базе карт ISA. Программная оболочка виртуальных осциллографов позволяет полностью управлять устройством, и имеет несколько возможностей сервиса: импорт и экспорт информации, цифровая фильтрация, разнообразные измерения, обработка информации математическим способом и т.д.

Виртуальные модели осциллографов являются хорошим альтернативным вариантом для стандартных запоминающих цифровых осциллографов, так как они обладают достоинствами в виде малой стоимости, простоте применения, компактных размеров и высокого быстродействия. К недостаткам виртуальных осциллографов относится невозможность измерения и отображения постоянной величины сигналов. Внешний вид разработанного в пояснительном пособии LabView приведён на рисунке 2. Примем его за прототип и разработаем осциллограф исходя из требований надежности, простоты восприятия и более меньшего количества тумблеров с сохранением всех функций

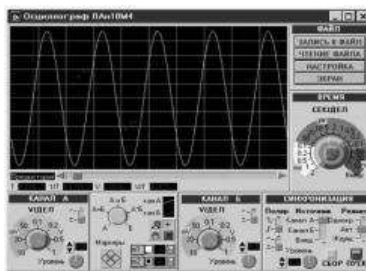


Рис. 2. Осциллограф виртуальный. Лицевая панель в программе LabView  
В таблице 1 приводятся данные виртуальных осциллографов компании National Instruments (PCI-5102, PXI-5102, DAQCard-5102, AT-5102).

Таблица 1. Данные виртуальных осциллографов компании National Instruments

Характеристики	По ТЗ	ЦЗО	ЦСО	ЦВО	ЦЛО	ЦПО
Полоса пропускания	5кГц	200МГц	70ГГц	15 МГц	1ГГц	200МГц
Макс. частота дискретизации (выб. /с)	$15 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Разрядность АЦП (бит)	8	8	16	8	8	8
Погрешность канала вертикального отклонения (В)	$\pm 0.1$	0,005	0,000008	0,005	0,005	0,005
Диапазон измеряемых напряжений (В)	$\pm 0-50$ $\sim 0-25$	300	$2 \cdot 10^{-3}$ $\div 5000$	$50 \cdot 10^{-3}$ $\div 5000$	$1 \cdot 10^{-3}$ $\div 150$	$2 \cdot 10^{-3}$ $\div 300$

На данном этапе была создана программа в среде LabView [3-4]. Измеренные данные подаются на программу-осциллограф через COM-порт (интерфейс UART) на персональный компьютер. Эти данные были просчитаны с помощью программного обеспечения LabView компании National Instruments. Созданный виртуальный прибор представлен на рисунке 3.

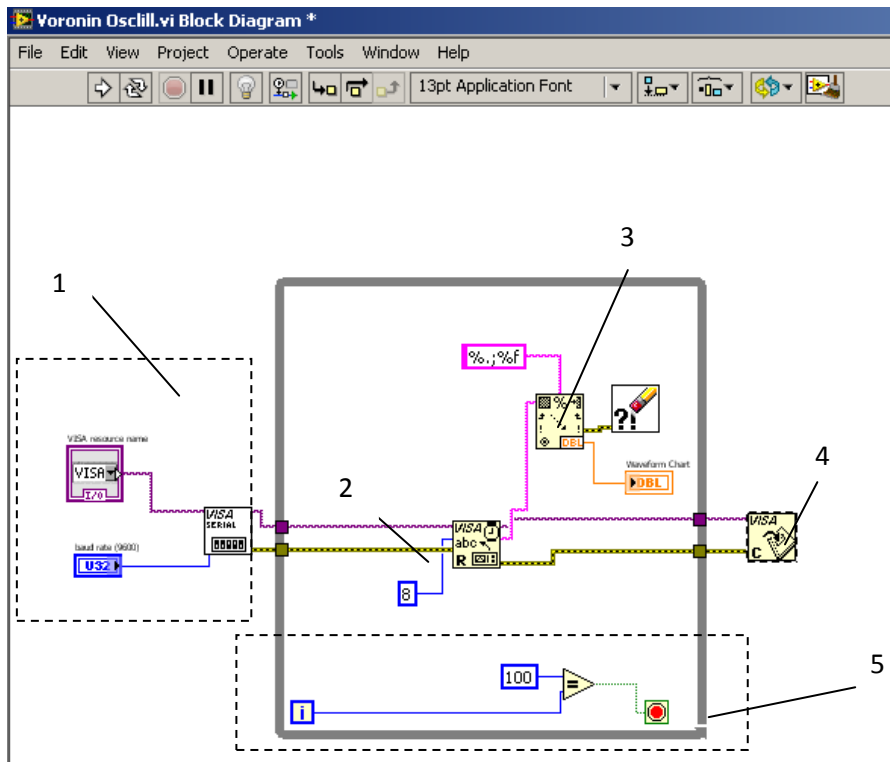


Рис – 3. Блок-схема осциллографа в Lab View

- 1 - Функция [VISA configure serial port];
- 2 - Функция [VISA read];
- 3 - Функция [Scan from string];
- 4 - Функция [VISA close];
- 5 – Условия цикла While Loop.

Программа работает следующим образом: Функция [VISA configure serial port] принимает сигнал, связываясь с COM-портом. Элементы, подключённые к функции задают её конфигурацию: имя входного порта и скорость передачи (baud rate) далее передаёт его на функцию [VISA read], которая считывает сигнал и передаёт его на [Scan from string], отвечающую за построение графика и [VISA close], отвечающую за закрытие программы в случае ошибки. Условия цикла While Loop обеспечивают запись каждых 100 значений на экран. Рассмотрим создание схемы работы прибора в Proteus

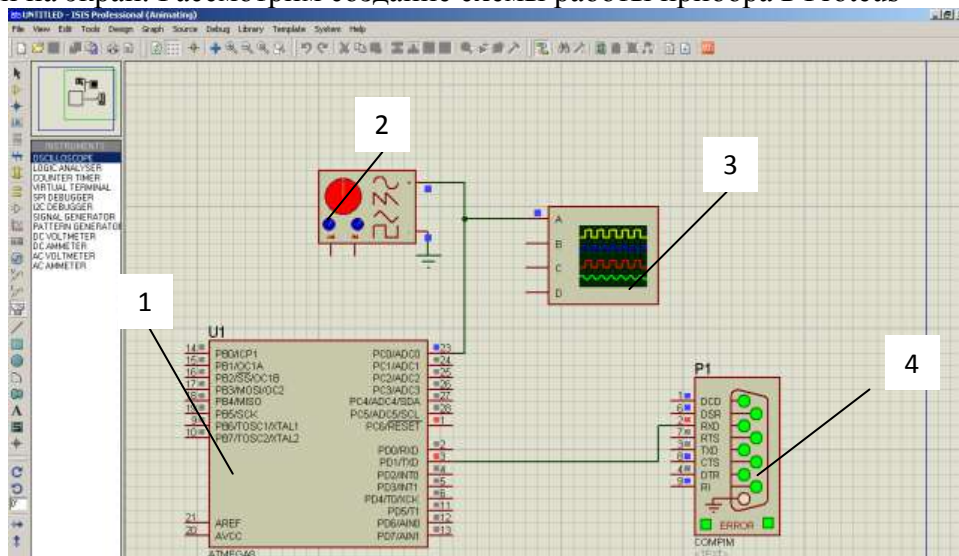


Рис. 4. Электронная модель осциллографа в Proteus, где:  
1 - микропроцессор Atmega8, 2 – Генератор аналогового сигнала, 3 – Осциллограф,

#### 4 – устройство COMPIМ

Задачей, стоявшей при создании схемы в Proteus было обеспечить возможность проверки правильности прошивки и исправность работы микропроцессора. Для этого к микропроцессору был подключен генератор сигнала, а также осциллограф для просмотра сигнала, поступающего на микроконтроллер. Сигнал с генератора поступает на вход АЦП микроконтроллера – PC0/ADC0, а после преобразования, сигнал подавался с выхода TXD микроконтроллера на вход RXD устройства COMPIМ, связывающего программу с COM-портом [4]. При добавлении панели инструментов получили модель осциллографа Рис.5

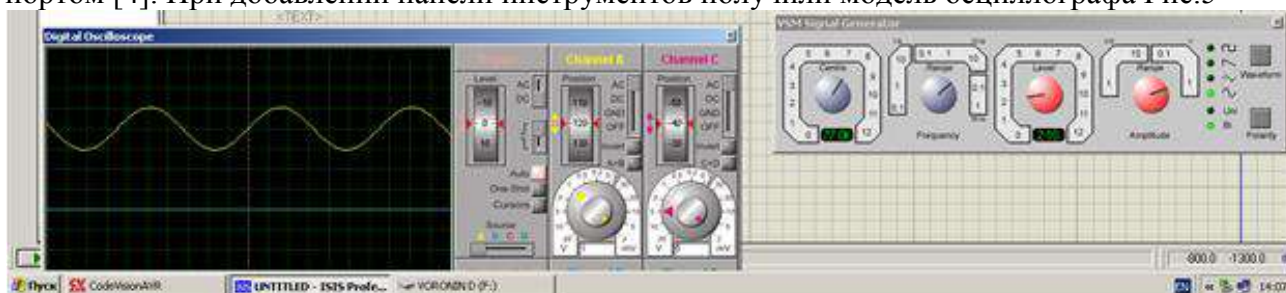


Рис. 5 –Виртуальная модель осциллографа

Анализируя вышесказанное, сделаем вывод - цифровые технологии быстро развиваются, в результате чего возможно стационарные приборы модифицировать в виртуальные устройства. Виртуальный осциллограф, который является удобным и понятным устройством, простым в реализации предоставляет возможность создания измерительной информационной системы, частью которой он будет являться. Важным аргументом работы с осциллографом данного типа станет его доступность, так как не будет необходимости покупать стационарный прибор «в железе» и кроме того имеющиеся средства отображения данных, такие как LED-дисплеи позволят более полномасштабно исследовать осциллограммы.

#### Список литературы

1. Блюдин, Е.К. Портативные осциллографы / Е.К. Блюдин. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 265 с. Бурьянов, Б. П. Магнитноэлектрический осциллограф / Б.П. Бурьянов. - М.: Государственное энергетическое издательство, 1988. - 240 с.
2. Д. Трэвис "LabVIEW для всех (4 издание)". Издательство: Книга по Требованию. ISBN 978-5-94074-674-4; 2011 г.
3. Феликс Жарков, Владимир Каратаев, Виктор Никифоров, Владислав Панов "Использование виртуальных инструментов LabVIEW". Издательство: Радио и связь, Горячая Линия - Телеком, СОЛОН 1999 г.
4. Валентин Федосов, Андрей Нестеренко "Цифровая обработка сигналов в LabVIEW". Издательство: ДМК Пресс 2007 г.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В ВС РФ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПЕЦТЕХНИКИ

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент, Т.П. Мишура, к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67  
Тел. 8(963)3437759  
E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

Современные условия проведения метрологической оценки спецсредств формирует особенности применения передвижных лабораторий для контроля образцов вооружения и военной техники, особенности использования данных лабораторий в связи с развитием цифровых технологий

Проведение поверочных и калибровочных мероприятий на спецтехнике может быть осложнено местами эксплуатации техники в приграничных территориях или в условиях проведения боевых действий на территории другого государства [1]. Время на поверку и калибровку в этих условиях многократно увеличивается по причине длительного процесса доставки измерительных инструментов до стационарной лаборатории и обратно, что ухудшает мобильность работы боевых подразделений. Кроме того современная тенденция развития цифровых технологий в метрологии (Рис 1), неоднократно упоминаемая Начальником Управления метрологии Вооруженных Сил полковником Лесуном И.В. подчеркивает необходимость перехода как к эталонам – переносчикам, так и к модернизации и развитию возможностей передвижных лабораторий измерительной техники (ПЛИТ).



Рис. 1 – Направления развития метрологического обеспечения в ВС РФ

Эффективность решения научно-практических задач военной метрологии и метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) можно подтвердить на примере метрологической экспертизы ВВСТ и технической документации на них, проведение которой и реализация результатов позволили: повысить готовность ВВСТ к применению на 7 - 10%; уменьшить в 2 - 2,5 раза вероятность ошибок при принятии решений о возможности безаварийной эксплуатации и эффективного применения ВВСТ; сократить продолжительность измерительных операций в процессе оценки технического состояния ВВСТ на 8 - 15%; уменьшить количество и массогабаритные характеристики применяемых на ВВСТ и в их составе СИ (в том числе, датчиков и других измерительных преобразователей) на 5 - 10%; сократить расход ресурса образцов ВВСТ при контроле их технического состояния на 10 - 15%; повысить точность



и достоверность оценки уровня тактико-технических характеристик ВВСТ и их стойкости к внешним воздействующим факторам.

Для решения возложенных задач метрологии и метрологического обеспечения войск (сил) Главный центр оснащен современной эталонной техникой, размещенной в специализированных помещениях, отвечающих установленным метрологическим и техническим требованиям, и укомплектован высококвалифицированными учеными-метрологами и инженерными кадрами. Кроме того, при Главном центре действует межведомственный координационный научно-технический совет (далее МКНТС), занимающийся проблемами обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства и метрологического обеспечения ВС РФ, реализующий функции главного центра по межведомственной и ведомственной методической координации в этих областях.

Дальнейшее развитие научных основ военной метрологии и метрологического обеспечения войск (сил) и ВВСТ планируется в следующих направлениях: 1. Разработка научных и методических основ и решение практических задач, обеспечивающих широкое применение мобильных эталонов (эталон-переносчиков) из состава в целях [4]:

- повышения показателей живучести, мобильности и оперативности системы передачи единиц величин от Главного центра региональным центрам метрологии Минобороны России (далее РЦМ); повышения точности и достоверности результатов аттестации региональных эталонов путем исключения их транспортировки в Главный центр и комплексной оценки показателей точности непосредственно в РЦМ;

- развитие системы ПЛИТ

Результаты исследований и весь предшествующий опыт развития отечественной и зарубежной военной метрологии показали, что наиболее эффективное решение данной задачи может быть обеспечено:

- мобильными комплексами эталонов-переносчиков,
- подвижными лабораториями измерительной техники (ПЛИТ).

ПЛИТ обеспечивают передачу размеров единиц величин с высокой точностью рабочим эталонам региональных, окружных и флотских баз (БИТ) и лабораторий измерительной техники (ЛИТ) и (или) используются непосредственно для метрологического обслуживания высокоточных систем оружия.

Следует отметить, что ПЛИТ получили свое развитие только в последние годы. Это обусловлено рядом факторов, в том числе возрастанием требований к точностным характеристикам современного вооружения, а также более благоприятными экономическими условиями по финансированию работ в области метрологии.

Под войсковой ПЛИТ понимается совокупность рациональным образом функционально объединенных подсистем, предназначенных для метрологического обеспечения войск и сил флота в местах дислокации образцов ВВТ: поверки, регулировки и ремонта СИ без их изъятия с мест эксплуатации.



Рис 2 – Пример ПЛИТ на базе шасси «Камаз»

Следует отметить, что для повышения оперативности работ по поверке и ремонту СИ, в том числе специальных приборов, в видах ВС в инициативном порядке силами лаборат

Конструктивно ПЛИТ-А1-2 смонтирована в кузове-фургоне К2.4320Д на шасси автомобиля КамАЗ-43114. В салоне ПЛИТ-А1-2, для автоматизированной и неавтоматизированной поверки (калибровки), регулировки и текущего ремонта СИ МН, размещено 2 автоматизированных рабочих места (АРМ-1, АРМи 5 выносных неавтоматизированных рабочих мест (РМ-2, РМРМ-7) [2].

ЗАО «НПФ «Техноякс» разработал комплект переносных рабочих мест по поверке (калибровке) СИ МН, приспособленный к самостоятельной поставке.

Рабочие места представляют собой наборы рабочих эталонов и вспомогательного оборудования, необходимых для поверки (калибровки) СИ МН в соответствии с действующими нормативными документами на методы и средства поверки (калибровки) СИ МН, а также некоторый инструмент и приспособления.

Оборудование размещено в герметичных ударопрочных кейсах (с амортизацией внутри из пенополиуретана), приспособленных для переноски и транспортирования всеми видами транспорта. Примеры ПЛИТ приведены в таблице 1 [5]

Таблица 1. – Подвижные лаборатории измерительной техники

Вид плит	Назначение	Состав оборудования	Транспортная база
ПЛИТ-А1-2	Поверка, регулировка и текущий ремонт СИ на местах их эксплуатации	поверка СИ времени, электрических величин, ЭЛО, аппаратуры НЧ и УЗИ поверка СИ медицинского назначения, поверка СИ давления, поверка СИ массы, поверка СИ электрических величин	Кузов-фургон К2-4320Д на шасси автомобиля КамАЗ-43114
ПЛИТ-А2-4/1	Поверка, регулировка и текущий ремонт СИ на местах их эксплуатации	поверка СИ давления из электрических величин и времени, радиотехнических величин, геометрических величин массы, расхода и объема жидкости, электрических величин	Кузов-фургон К4.5350 (К2-4320Д) на шасси автомобиля КамАЗ-5350 (КамАЗ-43114)
ПЛИТ-А2-4/2	Поверка, регулировка и текущий ремонт СИ	поверка СИ радиотехнических величин, поверка СИ радиотехнических величин,	Кузов-фургон К4.5350 (К2-4320Д) на шасси

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

	на местах их эксплуатации	поверка СИ радиотехнических величин	автомобиля КамАЗ-5350 (КамАЗ-43114)
ПЛИТ-А2-4/4	Диагностирование и текущий ремонт СИ на местах их эксплуатации	диагностирование, регулировка и ремонт СИ радиотехнических, электрических величин и приборов давления, отдел слесарно-механических работ по ремонту СИ	Кузов-фургон К4.5350 (К2-4320Д) на шасси автомобиля КамАЗ-5350 (КамАЗ-43114)
ПЛИТ-А2-5/1	Поверка, регулировка специальных СИ, применяемых при ТО радио-электронного оборудования средств наземного контроля авиационной техники	поверка и регулировка специальных СИ радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов, поверка и регулировка специальных СИ авиационного оборудования, поверка и регулировка измерителя воздушных давлений	Кузов-фургон К4.5350 (К2-4320Д) на шасси автомобиля КамАЗ-5350 (КамАЗ-43114)
ПЛИТ-А3-2М	Поверка, регулировка и текущий ремонт СИ на местах их эксплуатации	поверка СИ электрических величин, давления и разряда, массы. Лаборатория 2: поверка СИ радиотехнических величин. ДЭС-16 кВт.	Кузов-фургона К4.5350 (К2-4320Д) на шасси и прицепе (СМЗ-782) автомобиля КамАЗ-5350 (КамАЗ-43114)

Таким образом, ПЛИТ являются перспективными аналогами современных стационарных лабораторий. В настоящее время система ПЛИТ вновь переживает свое восстановление, после некоторой паузы в конце 2000- годов, именно поэтому в настоящее время практических нет стандартов, кроме ТУ 6687-001-46413262-2004 [5], которые бы регламентировали деятельность ПЛИТ. В перспективе издание данных стандартов было бы несомненно большим шагом в сторону развития данных лабораторий. Достоверность проведенных измерений – важный элемент, который должен сводить к минимуму погрешности при проведении измерений в полевых условиях (воздействие на приборы влажности, давления, вибрации, грязи, волновых помех), а в современных условиях отсутствия стандартов на ПЛИТ невозможно отладить методику и четкую поверочную схему тех или иных приборов. Если не учитывать данный фактор при проектировании ПЛИТ, то данные типы лабораторий станут малоэффективными.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 8.885-2015 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Эталоны. Основные положения
2. А. Г. Леонтьев В. В. Котович Д. А. Кузнецов. Метрологические комплексы военного назначения. Учебное пособие Санкт-Петербург, Изд-во ГУАП, 2010
3. ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

4. И.В. Лесун. Военная метрология - основа метрологического обеспечения войск.  
[Электронный ресурс] <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-11/III> Время обращения 18.10.2019
5. ТУ 6687-001-46413262-2004 Подвижная лаборатория измерительной техники "ПЛИТ А1-2"

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПЕЦТЕХНИКИ**

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения 190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67*

*Тел. 8(963)3437759*

*E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

В процессе глобальной модернизации системы стандартизации в государственных ведомствах данный вектор развития в системе метрологического обеспечения вооружения и военной техники имеет как успехи, так и проблемы в адаптации.

Современная система стандартизации во всех эшелонах власти имеет характер опережающего развития. В связи с этим можно наблюдать ситуацию, когда на одну и ту же методику действует несколько правомерных документов. Во многих случаях один документ дополняется другим и в этом прослеживается логическое зерно, но иногда документы частично противоречат друг другу, что приводит к осложнению взаимоотношений между заказчиками проектов и его непосредственными исполнителями. Далее на этапе приемо-сдаточных работ, при проведении обязательной метрологической экспертизы (ОМЭ) возможно наблюдать также параллельное действие нескольких методик, что ставит под сомнение достоверность проведенных измерений, а значит и всеобщее качество изготовления конструкции машины.

Приказом Министра обороны Российской Федерации (МО РФ) от 15.01.2019 № 3 установлен "Порядок проведения в вооруженных силах Российской Федерации (ВС РФ) обязательной метрологической экспертизы специальной техники и технической документации на них".

Данный приказ зарегистрирован в Минюсте России 13.02.2019 № 53766. Дата официального опубликования нормативно-правового акта: 14.02.2019, начало действия документа – 25 февраля 2019 г. При этом необходимо отметить что, предшествующий вышеуказанному приказу действует приказ МО от 24.10.2017 № 640 "Об установлении Порядка проведения обязательной метрологической экспертизы образцов и спецтехники и технической документации на них" официально не публиковался и не зарегистрирован в Минюсте России. В этом и дальнейшем подходах к дублированию нескольких параллельно существующих полномочных документов мы будем сталкиваться неоднократно.

В настоящий момент порядок, утвержденный приказом от 24.10.2017 № 640, был введен в действие с 1 января 2018 года. Кроме того, приказом МО от 24.10.2017 № 640 признан утратившим силу с 1 января 2018 г. приказ МО Российской Федерации от 14 февраля 2012 г. № 222 "Об утверждении Руководства о порядке проведения метрологической экспертизы образцов спецтехники" [1].

Таким образом, по состоянию на сегодняшний день действуют два (!) нормативно-правовых акта о порядке проведении обязательной метрологической экспертизы (ОМЭ) образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и технической документации на них.

Более того, в связи с изданием приказа МО РФ от 24.10.2017 № 640 «Об установлении Порядка проведения обязательной метрологической экспертизы образцов и комплексов специальной техники и технической документации на них», в жизненном цикле обязательной метрологической экспертизы (военно-метрологического обеспечения) специальной техники не предусмотрен этап эксплуатации.

Рассмотрим в каком состоянии находится существующая методика проведения обязательной метрологической экспертизы (ОМЭ). В соответствии с приказом МО РФ от

15.01.2019 № 3 проведение ОМЭ на этапах разработки технического проекта и проведения государственных испытаний ВВСТ осуществляется:

- на этапе разработки технического проекта – после утверждения головным исполнителем (исполнителем) технического проекта для его приемки заказывающим органом;

- на этапе государственных испытаний – после приемки ВП предназначенных для государственных испытаний опытных образцов создаваемых (модернизируемых) ВВСТ и технической документации на них.

ОМЭ на этапах разработки технического проекта и проведения государственных испытаний ВВСТ проводится с выездом метрологов-экспертов (представителей аккредитованной организации вооруженных сил (ВС) в организации головного исполнителя (исполнителя) по согласованию с заказывающим и (или) дольствующим органом.

Решение о необходимости выезда метрологов-экспертов (представителей аккредитованной организации ВС) в организации головного исполнителя (исполнителя) в целях проведения ОМЭ принимается руководителем (заместителем руководителя) аккредитованной организации ВС [2].

Для проведения ОМЭ на этапе разработки технического проекта головной исполнитель в течение трех дней после утверждения технического проекта направляет в аккредитованную организацию ВС, определенную Планом проведения ОМЭ, следующую техническую документацию:

- пояснительную записку технического проекта, утвержденную головным исполнителем (исполнителем), составленную в произвольной форме;
- перечень измеряемых и контролируемых параметров и характеристик ВВСТ и их составных частей, допускаемых отклонений на них, требований к точности (погрешности) их измерений, выбранным типам средств измерений (методикам (методам) измерений) (приложение № 5 к настоящему Порядку);
- перечень методик (методов) измерений, разрабатываемых при выполнении ОКР, СЧ ОКР или инициативных разработок, подлежащих аттестации (приложение № 6 к настоящему Порядку);
- обоснование необходимости разработки новых средств измерений военного назначения (приложение № 7 к настоящему Порядку) с учетом требований нормативных технических документов системы общих технических требований;
- метрологические цепи измеряемых (контролируемых) параметров (приложение № 8 к настоящему Порядку), разработанные головным исполнителем (исполнителем) при проведении метрологической экспертизы на этапе разработки технического проекта;
- заключение по результатам проведения головным исполнителем (исполнителем) метрологической экспертизы на этапе разработки технического проекта.

Для проведения ОМЭ на этапе проведения государственных испытаний головной исполнитель в течение трех дней после утверждения (согласования) ВП акта материально-технической приемки опытного образца создаваемых (модернизируемых) ВВСТ направляет в аккредитованную организацию ВС, определенную Планом проведения ОМЭ, следующую техническую документацию:

- отчеты (протоколы) по результатам предварительных испытаний;
- комплекты эксплуатационной и ремонтной документации на ВВСТ;
- акт оценки готовности метрологического обеспечения государственных испытаний ВВСТ (приложение № 9 к настоящему Порядку);

- метрологические цепи измеряемых (контролируемых) параметров, разработанные головным исполнителем (исполнителем) при проведении метрологической экспертизы на этапе предварительных испытаний;
- заключение по результатам проведения головным исполнителем (исполнителем) метрологической экспертизы на этапе проведения предварительных испытаний;
- справку о реализации мероприятий по результатам проведенных метрологических экспертиз, составленную в произвольной форме;
- копии свидетельств об утверждении типа средств измерений, разработанных в рамках ОКР, СЧ ОКР или инициативной разработки;
- копии свидетельств об аттестации методик (методов) измерений, разработанных в рамках ОКР, СЧ ОКР или инициативной разработки.

Руководитель (заместитель руководителя) аккредитованной организации ВС в течение трех рабочих дней с даты поступления документов, указанных в пунктах 29 и 30 настоящего Порядка, назначает комиссию по проведению ОМЭ (далее - комиссия), в состав которой включаются метрологи-эксперты, а также другие должностные лица аккредитованной организации ВС (при необходимости), и утверждает программу проведения обязательной метрологической экспертизы (далее - Программа) (приложение № 12 к настоящему Порядку).

Программа разрабатывается с учетом задач, указанных в таблице 1 приложения № 3 к настоящему Порядку. Комиссия проводит ОМЭ в соответствии с Программой и оформляет заключение по результатам проведения ОМЭ [3,4].

Общая продолжительность выполнения ОМЭ не должна превышать:

- - на этапе разработки технического проекта – пятнадцати рабочих дней с даты поступления технической документации;
- - на этапе проведения государственных испытаний – двадцати пяти рабочих дней с даты поступления технической документации.

При необходимости выезда метрологов-экспертов (представителей аккредитованной организации ВС) в организации головного исполнителя (исполнителя) продолжительность выполнения ОМЭ может быть увеличена. Срок выполнения ОМЭ может быть продлен по решению руководителя (заместителя руководителя) аккредитованной организации ВС на срок не более 15 рабочих дней. Заключение по результатам проведения ОМЭ утверждается руководителем (заместителем руководителя) аккредитованной организации ВС, и в срок не более трех рабочих дней с даты утверждения копии заключения по результатам проведения ОМЭ направляются в ФГБУ "ГНМЦ" МО - заказывающий орган, довольствующий орган, главному исполнителю (исполнителю) и в ВП.

Контроль устранения недостатков, выявленных при проведении ОМЭ, осуществляется:

- ВП;
- организациями ВС при осуществлении ВНС ОКР, СЧ ОКР или инициативных разработок;
- комиссиями по приемке этапов ОКР, СЧ ОКР или инициативной разработки.

Таким образом, для контроля устранения недостатков, выявленных при проведении ОМЭ, в состав комиссий по приемке этапов технического проектирования и проведения государственных испытаний ВВСТ включаются метрологи-эксперты (представители аккредитованной организации ВС), проводившие ОМЭ на этапах технического проектирования и проведения государственных испытаний, что является подтверждением их значимости и незаменимости в процессе экспертизы. Система стандартизации спецтехники в настоящее время имеет ряд последовательных экспертиз, увеличивающих надежность оборудования в целом, что однако при применении ряда соседствующих документов делает процесс экспертизы более длительным и дорогостоящим.



**Список литературы**

1. РД 95 762-91 Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» [Текст] от 26.06.2008 № 102-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 26. Ст. 3021
3. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.- Введ.2012.01.01.-Мкс.:Стандартинформ,2012.-36 с.
4. ГОСТ Р 56098-2014 Системы космические. Метрологическая экспертиза конструкторской документации. Организация и порядок проведения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ ПРОФИЛОМЕТРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

*К.В. Епифанцев, к.т.н., доцент*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения, 190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67*

*Тел. 8(963)3437759*

*E-mail: [epifancew@gmail.com](mailto:epifancew@gmail.com)*

Эволюция приборов для измерения шероховатости особенно быстро прорисходит в 21 веке, всвязи с развитием стратегии вхождения промышленности в Индустрию 4.0 Точность изготовления в машиностроении измеряется в основном стандартным рядом линейно-угловых измерительных приборов, однако наряду со стандартными измерениями длины и толщины изделий, важным параметром для измерения и более тщательной оценки качества обработки поверхности является измерение шероховатости.

Шероховатость поверхности – это показатели, которые характеризуют состояние неровностей поверхности, измеряемых сверхмалыми отрезками при базовой величине длины. Совокупность показателей, обозначающих возможную ориентацию направлений неровностей поверхностей с определенными значениями и их характеристикой, задается в нормативных документах ГОСТ 2789-73, ГОСТ 25142-82, ГОСТ 2.309-73.

Неровности на большинстве поверхностей возникают по причине образующихся деформаций верхнего слоя материала при осуществляемой обработке с использованием различных технологий. При серийном производстве деталей возникновение дефектов формы (бочкообразность, конусность) увеличивают допустимый износ деталей.

Измеритель шероховатости (профилометр) – устройство, которое предназначено для определения неровности поверхности. Результаты представляются в виде кривой линии – профилограммы. Для оценки данного параметра используется показатель шероховатости Ra и Rz, исчисляемые в микрометрах (мкм). Рассмотрим перспективы перехода от более простых к более сложным принципам работы профилометров.

Первое поколение профилометров – механический индикатор частоты с иглой, который способен выводить на шкале отклонения от реперной начальной точки, установленной на шкале в первоначальной точке отсчета на поверхности

Второе поколение – применение в профилометре индуктивного датчика (измерительный щуп) с алмазной иглой. Игла движется перпендикулярно относительно проверяемой поверхности. Датчик генерирует импульсы, проходящие через электронный усилитель. Возникающие при этом механические колебания щупа преобразуются в цифровой сигнал. Обработка нескольких таких сигналов позволяет вычислить усредненное значение параметра – количественную характеристику неровности участка из расчета на определенную длину.

Третье поколение – лазерный профилометр содержащий лазерные излучатели с оптическими системами для преобразования пучка лазерного света в линию и оптические приемники отраженных излучений. Это наиболее быстрый и точный прибор, позволяющий оперативно производить измерения.

Четвертое поколение, которое было проанализировано на основе действующих разработок, представленных патентами на изобретения и полезные модели в базе ФИПС, в основном связаны с доработкой пучка лазера:

- лазерный профилометр - дальномер (патент РФ 2082090, опубл. 20.06.1997);
- лазерный профилометр для измерения геометрических параметров профиля дороги (патент РФ 2201577, опубл. 27.03.2003).

- лазерный профилометр для контроля профиля изделий сложной формы (патент РФ 2285234, опубл. 10.10.2006);

Приоритетным направлением развития российской промышленности является модернизация измерительного оборудования, способного повысить точность изделия до более высокого предела в нано- пико- и фемто- обозримых единицах.

Правильное использование методики определения показателей шероховатости поверхностей позволяет достичь более высокой точности обработки и размера деталей при соблюдении параметров, указанных в нормативных документах, которые дают возможность значительно повысить качество готового продукта.

Высокое качество обработки деталей позволяет значительно снизить износ поверхностей, возникновение очагов коррозии, тем самым повышая точность сборки механизмов их надежность при длительной эксплуатации. В процессе исследования проилометров был разработан виртуальный образец в LabVIEW

Предлагаемая структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

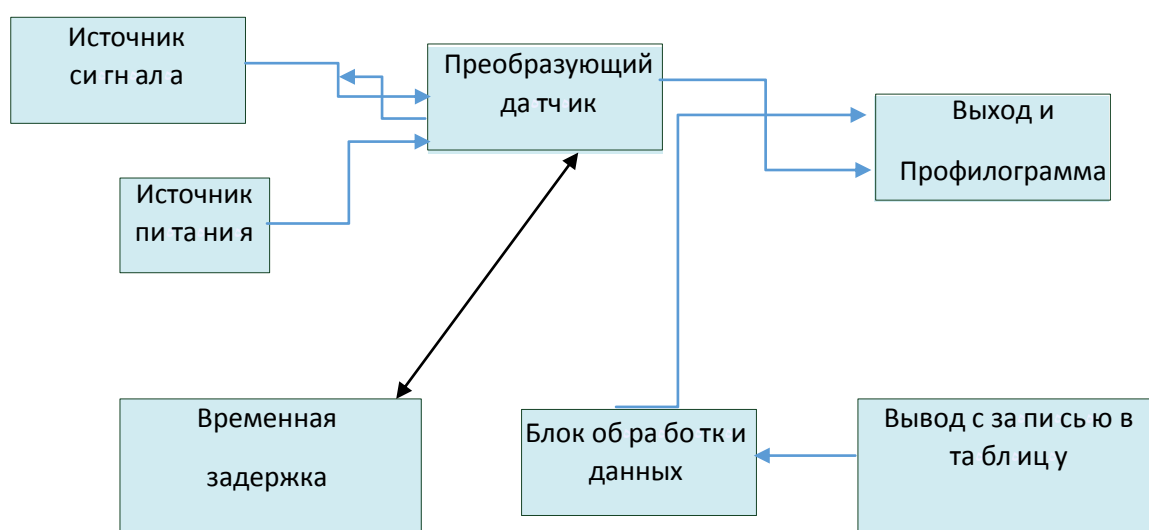


Рис 1 Структурная схема виртуального профилометра

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные табло и т.п. Они используются оператором для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

Блочная диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приёмниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы («задние контакты» объектов лицевой панели) и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т.п.). Функциональные узлы и терминалы объединены в единую схему линиями *связей*.

Для задачи разработки профилометра необходимо аналоговый сигнал от нескольких диодов перевести в цифровой и передать на дисплей управления. В программе LabVIEW есть функциональные узлы перевода аналогового сигнала в цифровой. Есть также функциональный узел источника аналогового сигнала с дополнительной функцией шумов.

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

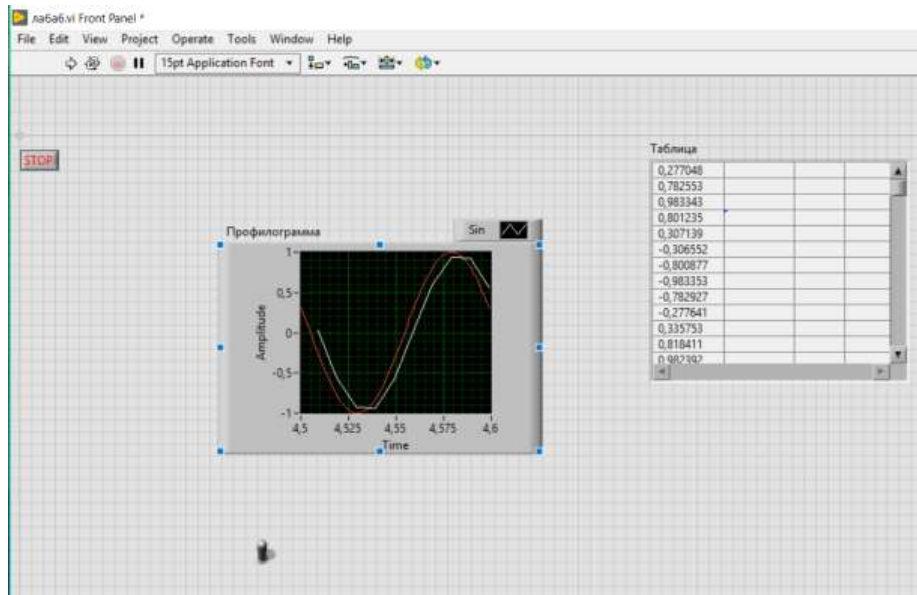


Рис 2 – Схема профилометра в LabVIEW

Таблица первая на Рис 2 - значения аналогового сигнала в десятичном исчислении, вторая в двоичном.

Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый, нужно использовать функцию преобразования цифрового сигнала в аналоговый. В данном случае функция полезна для проверки правильности первого преобразования.

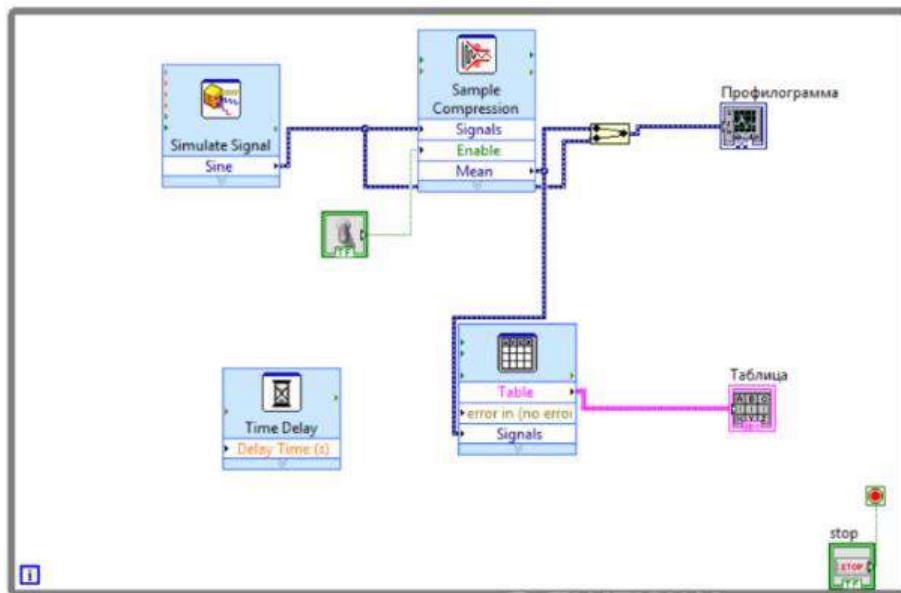


Рис 3 – Запись результатов в LabVIEW

Для того чтобы рассмотреть, какой вид сигнала получается после источника сигнала вводим дисплей отображения. Цифровым данным можно задать шкалу и разрядность. Чтобы рассмотреть, что на входе и выходе функции преобразования аналогового сигнала в цифровой ждем на функцию. Корпус прибора представлен на рисунке 4

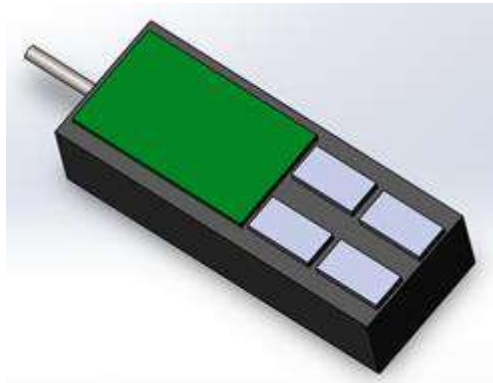


Рис 4. – Корпус виртуального профилометра

Для того чтобы посмотреть, что происходит после второго преобразования вводим второй монитор отображения. Как видно из первого рисунка преобразования происходит правильно, так как сигнал на входе и выходе повторяется с точностью до ошибки дискретизации в цифровой сигнал. Для 16 разрядного АЦП ошибка порядка - диапазон шкалы деленная на 65000.

Виртуальные профилометры предоставляют широкие возможности моделирования методики калибровки профилометров, реально применяемых в лабораториях. Именно LabView позволяет минимизировать неопределенности в процессе метрологического обеспечения производственного цикла. К неопределенностям, которые зачастую присутствуют при измерении детали в несоответствующих температурных режимах, в процессе потенциального скопившегося статического напряжения, вибрации, отсутствия стерильности, отсутствия нормативного освещения и т.д.. Виртуальный прибор, не подвергающийся воздействию вышеперечисленных факторов, предоставляет возможность предусмотреть риски и учитывать их при реальных измерениях.

#### **Список литературы:**

1. ГОСТ 2789-73. Межгосударственный стандарт. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. — Введ. 1973-04-23. — Постановлением Госстандарта СССР.;
2. ГОСТ 25142-82 (СТ СЭВ 1156-78). Государственный стандарт Союза ССР. Шероховатость поверхности. Термины и определения. — Введ. 1981-02-18. — Постановлением Госстандарта СССР.
3. Патент РФ 2082090, опубл. 20.06.1997
4. Патент РФ 2285234, опубл. 10.10.2006
5. Патент РФ 2201577, опубл. 27.03.2003

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАЦЕПЛЕНИИ ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Е.А. Ефременков, к.т.н., доц.,*

*С.А. Шанин, к.ф-м.н., доц.,*

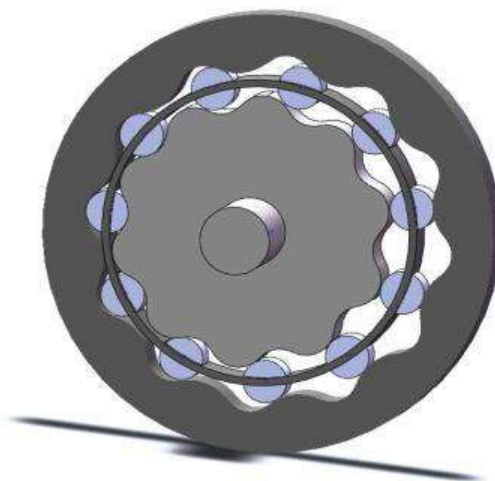
*С.Н. Сорокова, к.ф-м.н., доц.,*

*М.Е. Долгий, ст. преподаватель*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)- 606-392*

E-mail: [ephrea@mail.ru](mailto:ephrea@mail.ru), [s\\_sorokova@tpu.ru](mailto:s_sorokova@tpu.ru)

Передачи с промежуточными телами качения (ПТК) все чаще находят применение в современной промышленности. Эти передачи изучались многими авторами [1,2,3,4], но наиболее перспективной для применения в приводах станков с числовым программным управлением (ЧПУ) является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО). Для более обоснованного использования данной передачи (рис. 1) в приводных механизмах необходимо проводить испытания вновь разработанных конструкций на ресурс. Особенно это актуально для приводов, работающих длительное время. Однако изготовление и испытание новой конструкции требуют много времени и средств, что в современных условиях развития производства является сдерживающим фактором. При проектировании стандартных механизмов широко используются системы автоматизированного проектирования и расчета, но для проектирования механизмов на базе передачи с ПТКСО отсутствуют математические модели, на основе которых можно было бы оценить температурные деформации и выполнить разработку оптимального механизма. В связи с возрастающей потребностью в разработке и проектировании механизмов на базе передачи с ПТКСО является актуальной разработка математической модели распределения температурных деформаций в зацеплении передачи с ПТКСО.



**Рис. 1.** Твёрдотельная модель передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

В общем виде математическая постановка задачи объединяет уравнение энергии в форме уравнения теплопроводности, уравнения равновесия и соотношения между компонентами тензоров напряжений и деформаций (соотношения Дюамеля-Неймана) [5].

В связи с геометрией изучаемой системы (рис.2) целесообразно выбрать цилиндрическую систему координат с началом отсчета в центре ролика.

$$c\rho \frac{dT}{dt} = \text{div}(\lambda_T \nabla T) - 3K\alpha_T T \frac{d\varepsilon_{kk}}{dt};$$
$$\sigma_{ij,j} + \rho S \sigma_{kk} = 0, \quad i,j=1,2,3$$
$$\sigma_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij} + \delta_{ij}(\lambda\varepsilon_{kk} - 3K\alpha_T(T - T_0)),$$

где  $T$  - температура,  $\varepsilon_{ij}$  - компоненты тензора деформаций,  $\sigma_{ij}$  - компоненты тензора напряжений,  $c, \rho$  - теплоемкость и плотность компонентов системы,  $\lambda_T$  - коэффициент теплопроводности,  $\alpha_T$  - коэффициент теплового расширения,  $K$  - изотермический модуль всестороннего сжатия,  $\varepsilon_{kk}$  - относительное изменение объёма,  $\lambda, \mu$  - коэффициенты Ламе,  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера.

Система уравнений в общем случае должна быть дополнена определением деформаций, начальными и граничными условиями. На бесконечности задается условие постоянного стока тепла и отсутствие напряжений и деформаций. На границе контакта (рис.2) задаем модифицированные граничные условия четвертого рода в которых учитывается изменение температуры вследствие трения. С математической точки зрения, сформулированная система уравнений является системой переменного типа и для ее решения необходимо разработать специальные численные алгоритмы.

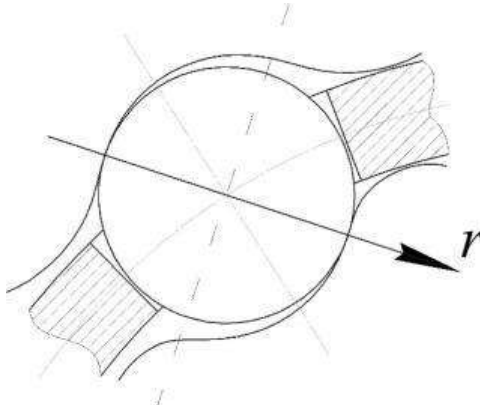


Рис. 2. Схема контакта тела качения с циклоидальными профилями зубчатых колес

### Заключение

Таким образом, сформирована математическая модель распределения температурных деформаций в зацеплении передачи с ПТКС, основанная на законах термодинамики и уравнения баланса, позволяющая описать распределение температуры и напряжений в зацеплении планетарной циклоидальной передачи.

### Список литературы:

5. Lustenkov, M.E. Planetary Ball Transmissions: Strength Calculations // Russian Engineering Research. – 2010, Vol.30, No. 9, pp. 862-866.
6. Prudnikov, A.P. Thermal analysis of transmission with intermediate rolling bodies // AER-Advances in Engineering Research (AviaENT 2018). – 2018. – Vol. 158. P. 338–342.
7. Ephremkov, E. Calculation of Temperature of Heating of Speed Reducers On The Basis of Transmissions with IRB// The 1st International Forum On Strategic Technology, Ulsan, KOREA, 2006. – P. 342 – 343.



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

8. An I-Kan, П'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.
9. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. Мир, М., 1964, 517 с

## МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ В ПЛАЗМОТРОНЕ

<sup>1</sup>М.А. Кузнецов, к.т.н., <sup>1</sup>С.А. Солодский С.А., к.т.н., <sup>1</sup>М.А. Крампит, <sup>1</sup>А.В. Крюков, <sup>2</sup>В.Д. Сарычев, к.т.н., доц., <sup>2</sup>С.А. Невский, к.т.н.

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, 652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,  
тел. (38451)7-77-65

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, г. Новокузнецк, пр. Бардина, 25,  
тел. (3843) 46-22-77

E-mail: kuznechik85@tpu.ru

Математическое моделирование в настоящее время рассматривается как средство теоретического исследования нелинейных проблем в различных областях науки. Оно применяется в ситуациях, когда постановка эксперимента невозможна, очень сложна или очень дорога [1, 2].

Развитие компьютерной техники создает хорошие перспективы для разработки и применения достаточно сложных моделей, отражающих многофакторность и взаимосвязь различных физических процессов и явлений [3, 4]. Разработку подобных моделей удобно проводить путем использования программного комплекса CONSOL Multiphysics. CONSOL – это гибкая платформа, которая позволяет адаптировать модель к реальным условиям, добавляя или изменяя те или иные физические процессы, как описываемые стандартными интерфейсами, так и на основе установленных пользователем дифференциальных уравнений в частных производных. Все это дает возможность максимально точно приблизить полученную модель к реальности [5].

В работе рассмотрен расчет распределения скоростей, температур и плотности тока плазмообразующей среды в разработанной конфигурации плазматрона.

Пример расчета распределения скоростей, температур и плотности тока плазмообразующей среды в разработанной конфигурации плазматрона в пакете Comsol Multiphysics. Начальные и граничные условия представлены на рисунке 1.



Начальные условия и характеристики материала:

В качестве материала катода было выбрано АРМКО-железо. В качестве газа использовался воздух. Расчеты выполнены для силы тока  $I_0=100\text{A}$ . Поле скоростей плазмы в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 2. Распределение температуры в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 3. Распределение векторного поля плотности тока в момент времени  $t=1\text{мс}$  представлено на рисунке 4.

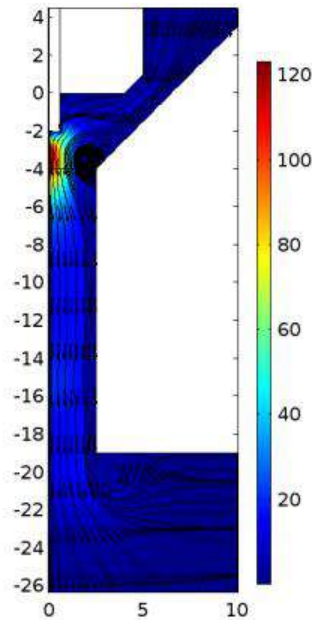


Рис. 2. Поле скоростей плазмы в момент времени  $t=1\text{мс}$ .

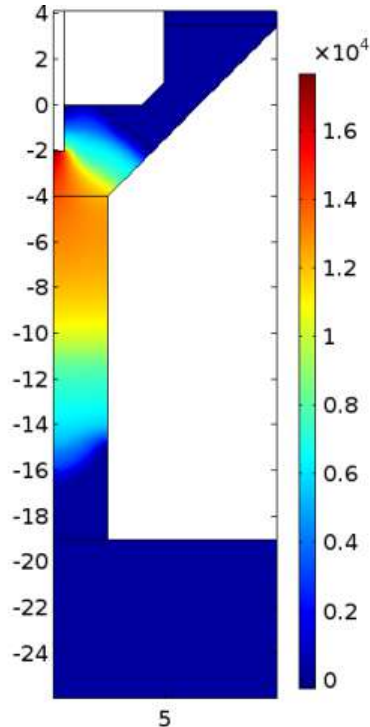


Рис. 3. Распределение температуры в момент времени  $t=1\text{мс}$ .

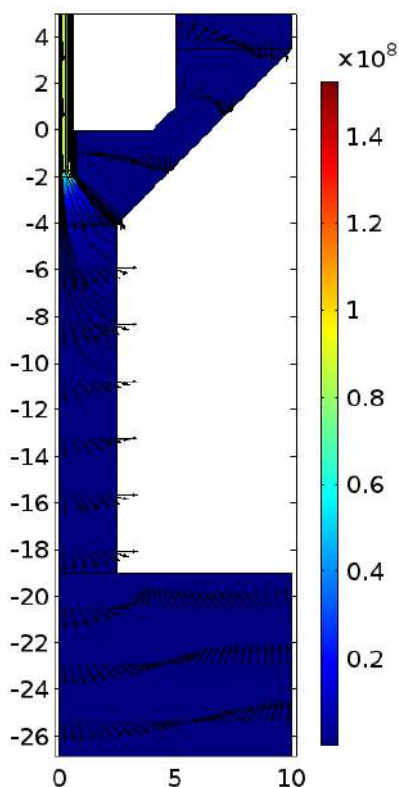


Рис. 4. Распределение векторного поля плотности тока в момент времени  $t=1$ мс.

#### **Вывод:**

Создан модуль расчета плазмы, позволяющий варьировать параметры на входе плазмотрона и получать оптимальные параметры на выходе из плазмотрона. Созданный модуль позволит моделировать различные процессы, происходящие внутри плазмотрона и на его выходе. Использование пакета для параметрического анализа условий формирования и переноса капель. Для управления размерами частиц создана математическая модель, в которую следующие параметры: материал электрода, его размер, характеристики защитного газа, силу тока, скорость подачи проволоки. Меняя входные параметры (материал электрода и диаметр, силу тока, скорость движения плазменных потоков) получим математическую модель, которая позволит управлять размерами полученных частиц.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10035)*

#### **Список литературы:**

1. Tashev P, Koprinkova-Hristova P, Petrov T, Kirilov L, Lukarski Y.J. Mathematical modeling and optimization of parameters of the mode for tungsten-inert gas remelting with nanomodification of the surface layer // J. Mater. Sci. Technol. – 2016. – V. 24. – № 4. – P 230–243.
2. Peng J, Yang L. Mathematical model on characteristics of V groove molten pool during MIG welding // Huagong Xuebao / CIESC J. – 2016. – V. 67. – № S131. – P. 117-126.
3. Биленко Г.А., Хайбрахманов Р.У, Коробов Ю.С., Компьютерное моделирование при разработке технологии сварки тонкостенных деталей из высокопрочной стали // Металлург. – 2017. – №4. – С. 25-29.

4. Kumar N., Bandyopadhyay A. Simulation of the effects of input parameters on weld quality in laser transmission welding (LTW) using a combined response surface methodology (RSM)-finite element method (FEM) approach // Opt. Lasers Eng. – 2017. – V. 36. – № 4-6. – P. 225-243.

5. Chinakhov D.A., Vorobjev A.V., Tomchik A.A. Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone // Mater. Sci. Forum. – 2013. – V. 762. – P. 717-721.

## ВИБРОГАСИТЕЛЬ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

*М.А. Кузнецов, студент гр. 4А6В,  
К.А. Кувшинов, ст. преподаватель,  
А.Н. Гаврилин, к.т.н., доц.  
Б.Б. Мойзес, к.т.н., доц.*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
E-mail: [bb1998boss@mail.ru](mailto:bb1998boss@mail.ru), [kuvshinov@tpu.ru](mailto:kuvshinov@tpu.ru), [gawral@tpu.ru](mailto:gawral@tpu.ru), [mbb!@tpu.ru](mailto:mbb!@tpu.ru)*

В процессе работы различные машины, механизмы и устройства излучают вибрацию, которую необходимо снизить до допустимого уровня, для этого используются различные виброзащитные системы.

Существуют активные и пассивные системы виброзащиты, при этом управление параметрами вибрации можно производить только в активных системах, потому что они предполагают изменения параметров.

Существуют следующие методы борьбы с вибрацией, такие как вибродемпфирование, виброизоляция и динамическое виброгашение. Вибродемпфирование и виброизоляция относятся к пассивным системам, а динамическое виброгашение к активной системе защиты от вибрации.

В 1967 г. Профессор Алабужев П.М. впервые высказал идею использования систем с квазинулевой жесткостью, работающих по принципу «фермы Мизеса».

Данная ферма представляет собой простейшую упругую систему, которая описывает нелинейное поведение и неединственность положения равновесия. Ферма Мизеса состоит из стоек 2, к которым прикреплены пружины 4 с каждой стороны. Эти пружины 4 соединены друг с другом через корректор жесткости 1 под некоторым малым углом. Вертикальную нагрузку демпфирует пружина 3, которая также прикреплена к корректору жесткости 1.

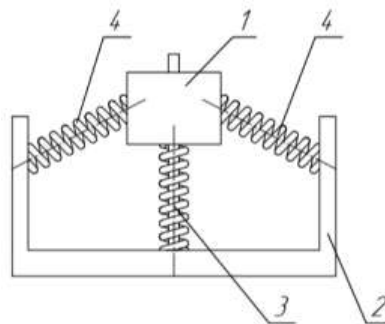


Рис. 1. Ферма Мизеса

Существуют системы виброзащиты, в которых участок с квазинулевой жесткостью, отображенный на графике силовой характеристики (рис.3), получен за счет упругого элемента, который передвигается между двумя направляющими перпендикулярно их оси.

Рассмотрим схему расположения элементов системы с квазинулевой жесткостью, в возможных положениях системы (рис.2).



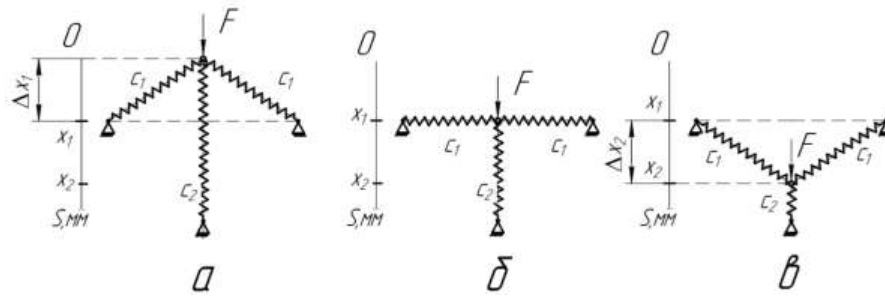


Рис.2. Положения элементов системы с квазинулевой жесткостью:

- а) Исходное положение системы ( $c_1, c_2$  - коэффициенты жесткости пружин);
- б) Система в рабочем положении
- в) Система в положении после «перескока».

Принцип работы данной схемы следующий, под действием вертикальной нагрузки  $F$  происходит потеря изначальной формы Рис.2 (а) данной фермы, в результате «перескока» Рис.2 (б), появляется новая зеркальная форма Рис.2 (в), симметричная и противоположная начальной. Наибольшая нагрузка будет возникать, когда стержни находятся в горизонтальном положении.

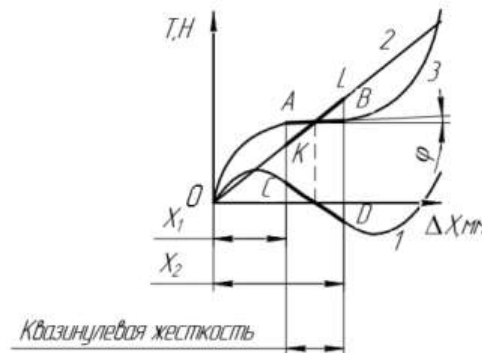


Рис.3. Силовая характеристика виброзащитных систем.

На данный момент актуальна задача, создание виброзащитной системы минимальных размеров, с минимальным количеством деталей и узлов, с высокой степенью надежности в резонансном режиме и малой жесткостью, которая эффективно демпфирует вибрации излучаемые источником.

Виброгаситель с квазинулевой жесткостью рис.4 состоит из промежуточной массы 1, которая помещена на полку 2, полка 2 перемещается при помощи шарниров 3. Шарниры 3 соединены со стаканом 4 с обеих сторон, с одной стороны соединены к полке 2, с другой стороны соединены с направляющими 5. Внутри стакана 4 расположен шланг 6. Шланг 7 расположен между основанием 8 и полкой 2.

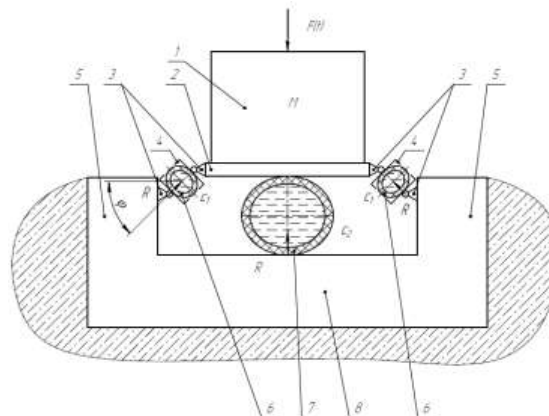


Рис.4 Виброгаситель с квазинулевой жесткостью.

Рассчитать параметры и усилие демпфируемое шлангами 6 с жесткостью  $c_1$ , и 7 с жесткостью  $c_2$  можно с помощью формул применительно к рисунку (Рис.4):

На положении 0 -  $\Delta x_1$  виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 + 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{\cos \varphi} \quad (4)$$

На положении  $\Delta x_1$  виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5)$$

На положении  $\Delta x_1 - \Delta x_2$  виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 - 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{\cos \varphi} \quad (6)$$

Где,  $c_1$ ,  $c_2$  – жесткость шланга 6, жесткость шланга 7 соответственно,  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  – величина, упругой деформации шлангов 6 и 7 соответственно.

В случае когда  $\varphi = 0$  уравнение будет иметь вид

$$c_0 + c_p = c_{шл} \quad (7)$$

$c_0$  – жесткость материала шланга,  $c_p$  – жесткость создаваемая жидкостью,  $c_{шл}$  – суммарная жесткость шланга.

$$T = c_{шл} \cdot \Delta x \quad (8)$$

$T$  – сила сопротивления шланга.

$\Delta x$  – величина упругой деформации шланга в текущий момент.

$$\omega = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} \approx 0,5 - 0,7 \text{ Гц} \quad (9)$$

$$\left(\frac{\pi \cdot x}{2} \cdot l\right) \cdot P = T_{соп} \quad (10)$$

где  $\frac{\pi \cdot x}{2} = f_{шл}$

$$F_{тр} = \alpha \cdot \dot{x} \quad (11)$$

$\alpha$  – коэффициент трения

$\dot{x}$  – скорость течения

$$Q = \mu \cdot f_{др} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = K \cdot f_{др} \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (12)$$

$$\dot{x} \cdot f_{шл} = Q_{шл} \quad (13)$$

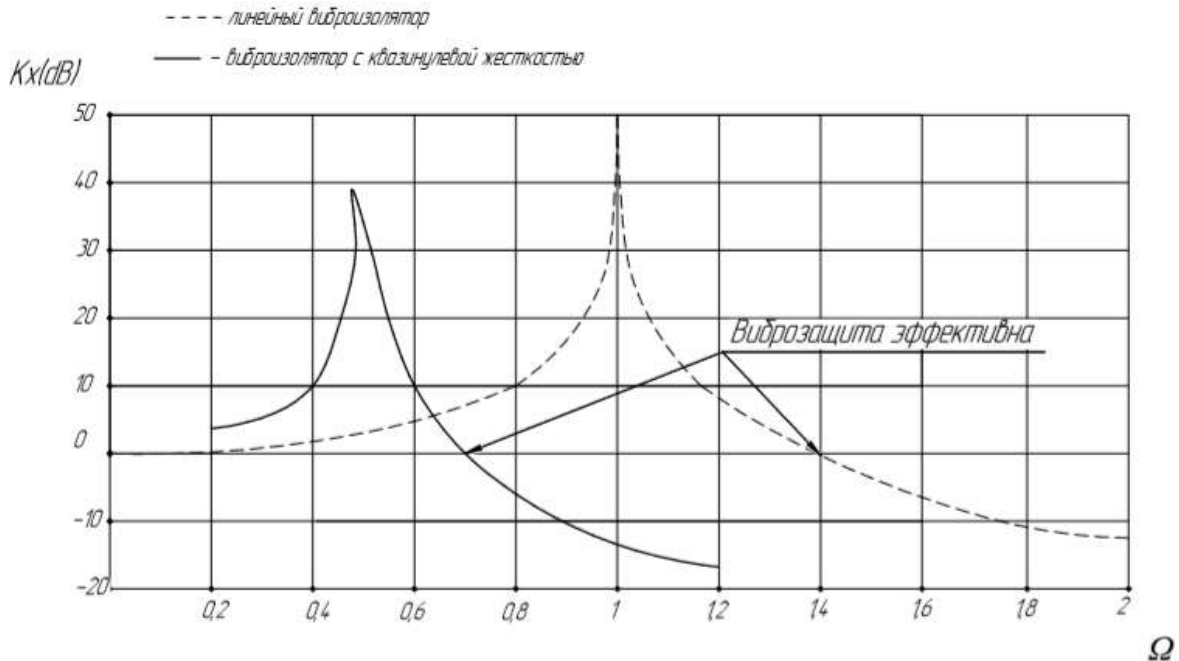


Рис.5. Сравнение коэффициента виброизоляции линейной виброзащитной системы и виброзащитной системы с квазиулевой жесткостью.

В области  $K_x < 0$ , формируется область эффективной работы системы с виброзащитой. Проанализируем график (рис.5), из которого видно, что диапазон эффективной работы виброзащитной системы с квазиулевой жесткостью значительно больше, по сравнению с линейной виброзащитной системой. Кроме того, наибольшая величина коэффициента виброизоляции у виброзащитной системы с квазиулевой жесткостью имеет меньшее значение, чем у линейной виброзащитной системы. [4]

#### Вывод:

В данной статье были рассмотрены различные виброзащитные системы, их конструкция, расчет параметров и принцип работы. Рассматривая эти системы были обнаружены следующие недостатки большие габариты системы, малый диапазон частот гасимых колебаний, большое количество узлов и деталей системы, а также малая степень надежности на резонансном режиме. Предлагаемая система устраняет эти недостатки, так как имеет нелинейную жесткость. Это позволяет гасить широкий диапазон колебаний.

В результате получена виброзащитная система, которая характеризуется малой жесткостью, малыми габаритами и большим диапазоном демпфируемых частот. Эффективность работы данной виброзащитной системы видно по графику, на котором видно, что коэффициент виброизоляции нелинейной системы с квазиулевой жесткостью выше, чем у других виброзащитных систем.

#### Список литературы:

1. Патент 2016129224 Российская Федерация, МПК F16F 15/00.
2. Патент 2101581 Российская Федерация, МПК F16F15/02.
3. Патент 2578299 Российская Федерация, МПК B25D 17/24(2016.03), B25D 17/04(2016.03), B25F 5/02(2016.03).
4. Сравнительный анализ виброзащитных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vibro-lab.ru/sravnit-vibroizolyatori> (дата обращения 22.09.2019).

## КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛОСТИ С ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОБЪЕМНОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

*Д.С. Лоечко, студент гр. 041814,*

*М.А. Шеремет, д.ф.-м.н., доц.*

*Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,*

E-mail: [whiteink@bk.ru](mailto:whiteink@bk.ru)

В современном мире вопрос охлаждения электронных приборов приобретает большое значение с усовершенствованием техники. Одним из наиболее популярных и менее затратных пассивных способов охлаждения тепловыделяющих элементов является реализация режимов свободно-конвективного теплопереноса, где в качестве агента теплообмена используется неньютоновская жидкость. Неньютоновские среды также находят свое применение и в пищевой промышленности, струйной печати, фармацевтической промышленности, обработке полимеров, солнечных коллекторах и т.д. [1].

Принимая во внимание отмеченное обстоятельство, целью данного исследования является математическое моделирование термогравитационной конвекции степенной жидкости в замкнутой полости с тепловыделяющим элементом. Область решения изображена на рисунке 1. Горизонтальные стенки полости теплоизолированы, а вертикальные поддерживаются при постоянной низкой температуре  $T_c$ . Источник тепла расположен в центре нижней горизонтальной стенки с переменным объемным тепловыделением, соответствующим закону  $Q = 0.5q\{1 - \sin(\xi t)\}$ . Для описания поведения неньютоновской жидкости используется модель Оставльда-де-Вилла [2]:

$$\tau_{ij} = 2\mu_{eff}D_{ij} = 2K(2D_{kl}D_{kl})^{\frac{n-1}{2}}D_{ij}.$$

Система нестационарных дифференциальных уравнений в преобразованных безразмерных переменных, описывающая данную постановку, выглядит следующим образом (1) – (4):

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Omega}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \left(\frac{Ra}{Pr}\right)^{\frac{n-2}{2}} \left[ \nabla^2 (M^{\%} \Omega) + S_{\Omega} \right] + \frac{\partial \Theta}{\partial X} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Theta}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Ra \cdot Pr}} \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{1}{\sqrt{Ra \cdot Pr}} \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} + \frac{1}{2} [1 - \sin(f\tau)] \right) \quad (4)$$

Здесь  $\Psi$ ,  $\Theta$ ,  $\Omega$  – безразмерные функции тока, температуры и вихря соответственно,  $f$  – относительная частота колебаний. Безразмерная вязкость  $M^{\%}$  и источниковый член  $S_{\Omega}$  в уравнении (2) имеют вид:

$$M\% = \left[ 4 \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X \partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}}$$

$$S_{\Omega} = 2 \left[ \frac{\partial^2 M\%}{\partial X^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 M\%}{\partial Y^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} - 2 \frac{\partial^2 M\%}{\partial X \partial Y} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X \partial Y} \right]$$

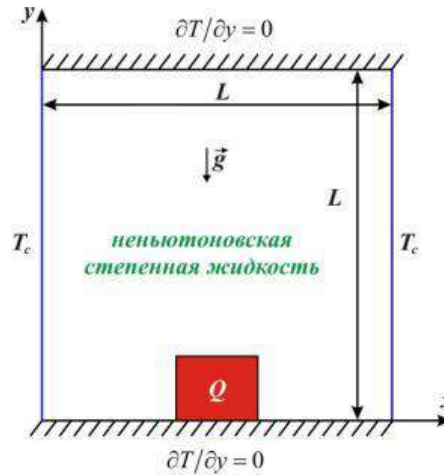


Рис. 1. Область решения

Критерии подобия для системы (1) – (4): число Рэлея –  $Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\%a}$ , число Прандтля –  $Pr = \frac{\%}{a}$ . Коэффициент эффективной кинетической вязкости определяется следующим образом [2]:  $\% = \left( \frac{K}{\rho} \right)^{\frac{1}{2-n}} \cdot L^{\frac{2(1-n)}{2-n}}$ .

Начальные условия для системы выглядят следующим образом:  $\Psi = \Theta = \Omega = 0$ .

Граничные условия:

в полости:  $X = 0$  и  $X = 1, 0 \leq Y \leq 1, \Psi = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \Theta = 0$

$Y = 0$  и  $Y = 1, 0 \leq X \leq 1, \Psi = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0$

на поверхности источника:  $\Psi = 0, \Omega = -\frac{\partial^2 \Psi}{\partial \bar{n}^2}, \begin{cases} \Theta_{ист} = \Theta_{ж} \\ k \frac{\partial \Theta_{ист}}{\partial \bar{n}} = \frac{\partial \Theta_{ж}}{\partial \bar{n}} \end{cases}$

Сформулированная краевая задача была решена численно методом конечных разностей на равномерной прямоугольной сетке. Разработанная вычислительная методика и используемая математическая модель были протестированы на модельных задачах [3].

Математическое моделирование термогравитационной конвекции степенной жидкости в замкнутой полости было проведено в широком диапазоне изменения следующих параметров: число Рэлея  $Ra = 10^4 - 10^6$ , показатель поведения жидкости  $n = 0.6 - 1.4$ , относительный коэффициент теплопроводности  $k = 1, 10, 100$ , относительная частота колебаний объемного тепловыделения  $f = 0.01\pi - 0.5\pi$ . Число Прандтля было зафиксировано  $Pr = 10^2$ .

На рисунке 2 представлено распределение линий тока и изотерм в зависимости от числа  $Ra$  при следующих параметрах:  $n = 0.6, k = 100, f = 0.01\pi$ . Видно, что с увеличением числа Рэлея происходит интенсификация конвективного теплопереноса в полости.

Влияние изменения индекса степенного закона показано на рисунке 3 при следующих параметрах:  $Ra = 10^5$ ,  $k = 100$ ,  $f = 0.01\pi$ . Среднее число Нуссельта уменьшается с ростом показателя поведения жидкости, что говорит об ослаблении конвективного теплопереноса в полости. В данном случае средняя температура в источнике возрастает, что хорошо просматривается на рисунке. Отсюда следует, что псевдопластическая жидкость ( $n < 1$ ) является оптимальным хладагентом.

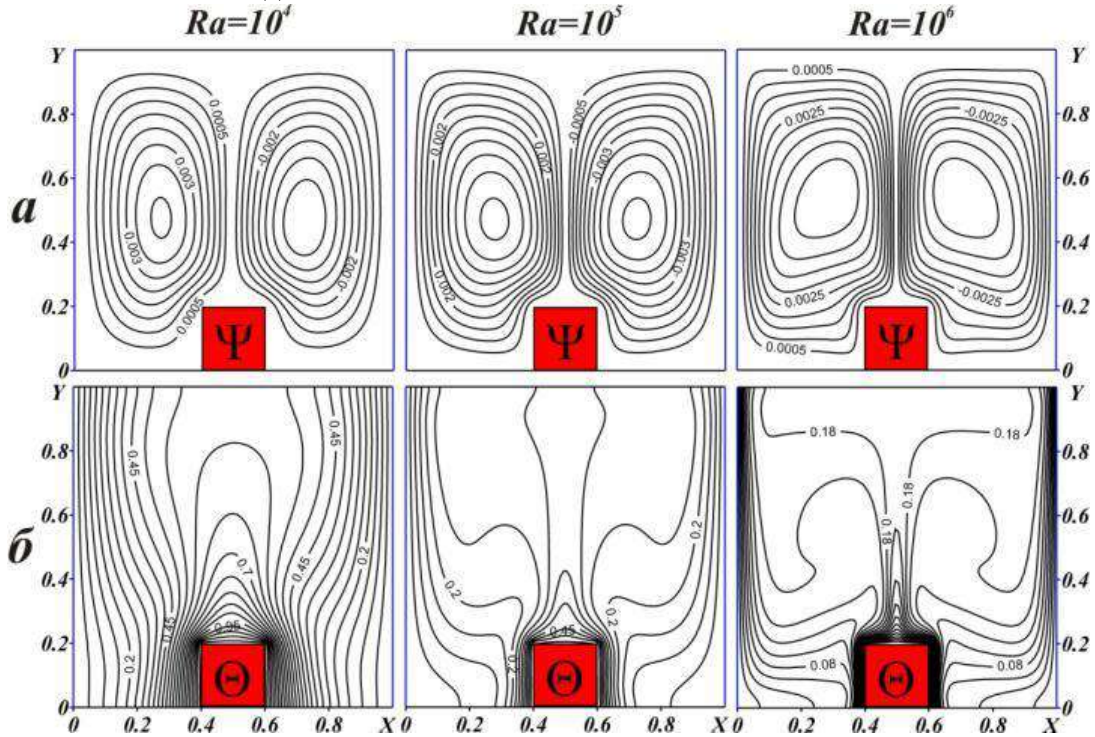


Рис. 2. Распределение линий тока  $\Psi$  (а) и изотерм  $\Theta$  (б) для различных чисел Рэлея

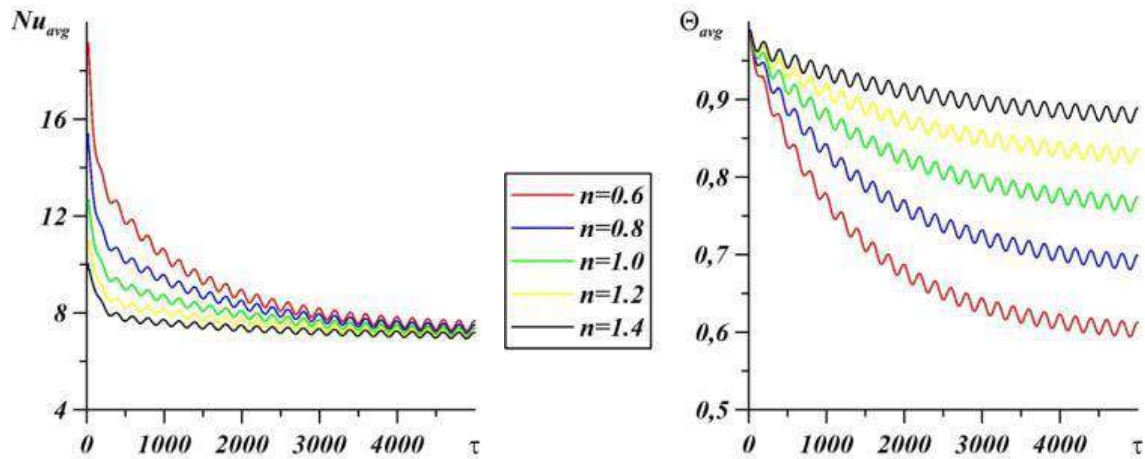


Рис. 3. Зависимость среднего числа Нуссельта  $Nu_{avg}$  и средней температуры  $\Theta_{avg}$  от показателя поведения жидкости  $n$

Изменение относительного коэффициента теплопроводности  $k$  также оказывает значительное влияние на исследуемый процесс. На рисунке 4 изображены изолинии функции тока и температуры при  $Ra = 10^5$ ,  $n = 0.6$ ,  $f = 0.01\pi$ . С ростом  $k$  конвективный теплообмен усиливается, форма ячеек внутри полости изменяется, при этом изотермы также меняют свою форму, образуя двумерный факел над тепловыделяющим элементом.

В ходе исследования был проведен анализ влияния частоты колебаний объемного тепловыделения источника энергии, результаты которого отражены на рисунке 5. Видно,



что малая частота осцилляций приводит к высокой амплитуде колебаний значений как среднего числа Нуссельта, так и средней температуры.

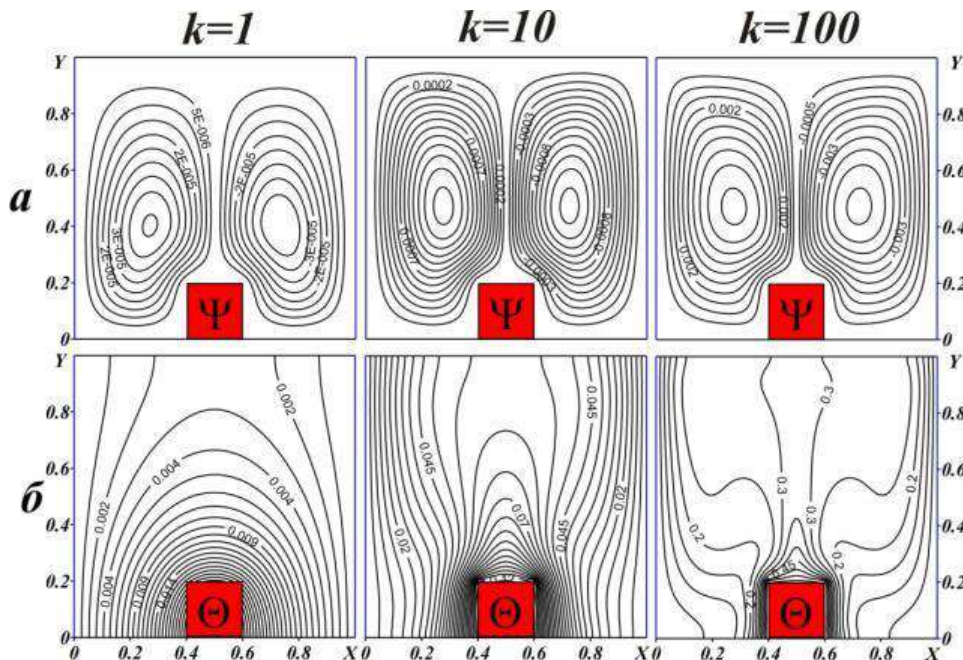


Рис. 4. Распределение линий тока  $\Psi$  (а) и изотерм  $\Theta$  (б) при разных относительных коэффициентах теплопроводности

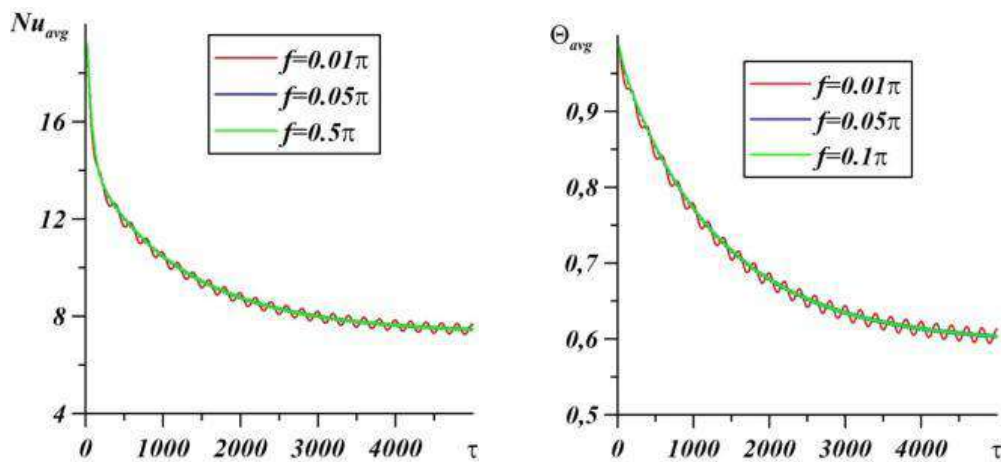


Рис. 5. Зависимость среднего числа Нуссельта  $Nu_{avg}$  и средней температуры  $\Theta_{avg}$  от относительной частоты колебаний

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых (грант МД-821.2019.8).

#### Список литературы:

1. Bozorg M.V. Two-phase mixed convection heat transfer and entropy generation analysis of a non-Newtonian nanofluid inside a cavity with internal rotating heater and cooler / M.V. Bozorg, M. Siavashi // International Journal of Mechanical Sciences. – 2019. – Vol. 151. – Pp. 842-857.



2. Khezzar L. Natural convection of power law fluids in inclined cavities / L. Khezzar, D. Siginer, I. Vinogarov // International Journal of Thermal Sciences. – 2012. – Vol. 53. – P. 8–17.

Loenko D.S. Natural convection of non-Newtonian power-law fluid in a square cavity with a heat-generating element / D.S. Loenko, A. Shenoy, M.A. Sheremet // Energies. – 2019. – Vol. 12, No. 2149.

## ОФОРМЛЕНИЕ УЗЛОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА КАРБИДА БОРА В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Р. С. Мартынов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> инженер-технолог, АО «Научно-производственный центр «Полюс», 634050, г. Томск, пр. Кирова, 56 "в", тел. (3822)-606-612.

<sup>2</sup> аспирант гр. А8-08, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

E-mail: [rsm@tpu.ru](mailto:rsm@tpu.ru)

Карбид бора, представляет собой бинарное соединение элементарных веществ – бора и углерода. Данный материал обладает характерным комплексом свойств, например низкой плотностью (примерно  $2,5 \text{ г/см}^3$ ), высокой температурой плавления ( $2620\text{-}2740 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а также, высоким сопротивлением некоторым типам излучения [1]. Данные свойства соединения карбида бора позволяют использовать его в различных отраслях промышленности [2-4].

В настоящее время получение карбида бора основано на методах карботермическое восстановление оксида бора, плазменного распыления, кристаллизации из расплава и др. [5-6]. Недостатком данных методов остается низкая производительность и высокая стоимость получения порошков на основе карбида бора из-за получения специальной защитной среды или вакуума.

Аналогом этих методов может выступать метод синтеза, реализуемый в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока; применяемый сегодня для синтеза углеродных наноструктур [7] и карбида бора [8]. Данный метод не предполагает наличие специальной защитной среды или вакуума для проведения синтеза.

Метод синтеза в атмосферной плазме дугового разряда заключается в следующем: в графитовый тигель-катод засыпается исходная смесь порошков углерода и бора; далее, при помощи графитового электрода (анода) инициируется электроразрядный процесс (рис. 1).

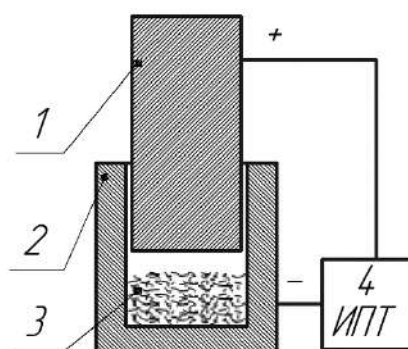


Рисунок 1. Схема синтеза порошкового карбида бора в атмосферной плазме дугового разряда. 1 – графитовый анод; 2 – графитовый тигель – катод; 3 – синтезируемый порошковый продукт, содержащий карбида бора  $B_{13}C_2$ ; 4 – источник постоянного тока.

Главным преимуществом такого метода является высокая производительность получения порошка карбида бора, а также отсутствие необходимости в использовании защитной среды или вакуума, поскольку в полости графитового тигля-катада при горении дугового разряда генерируется газообразный оксид углерода  $CO$ , который предотвращает

окисление получаемого порошка на основе карбида бора кислородом атмосферного воздуха. Однако, бор, является материалом с низкой электрической проводимостью, реализация данного метода является затруднительной т.к., при реализации синтеза данным методом, невозможно стабильное горение дуги поскольку она проходит через синтезируемый продукт. В связи с последним, требуется модернизация данного метода, которая позволит стабилизировать данный процесс.

В настоящей работе была изменена схема зарядного контура для электродугового метода, которая позволяет стабилизировать горение дуги, а также исключить попадание нежелательного катодного депозита в синтезированный продукт – карбид бора  $B_{13}C_2$  ( $B_4C$ ). Порошковый продукт, содержащий карбид бора  $B_{13}C_2$  ( $B_4C$ ) был получен в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока при горизонтальном расположении электродов (рис. 2).

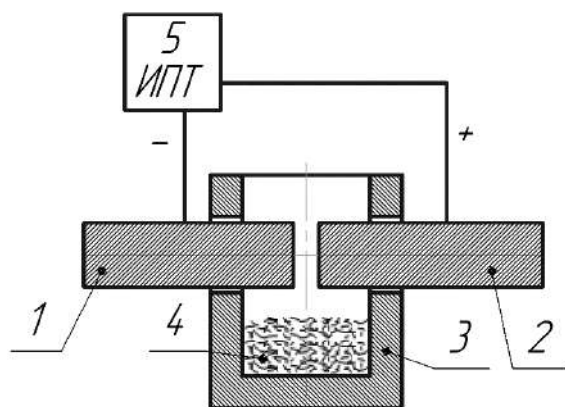


Рисунок 2. Схема синтеза порошкового карбида бора в атмосферной плазме дугового разряда при горизонтальном расположении электродов: 1 – графитовый катод; 2 – графитовый анод; 3 – графитовый тигель; 4 – синтезируемый порошковый продукт, содержащий карбида бора  $B_{13}C_2$ ; 5 – источник постоянного тока.

Отличием данного метода осуществления синтеза от уже существующего [8], является наличие отдельного катода, который снимает эту задачу с тигля. В результате этого, появляется постоянство электроразрядного промежутка между анодом и катодом, а также уменьшение попадания катодного депозита в синтезируемый порошковый продукт содержащий карбид бора  $B_{13}C_2$ .

#### Список литературы:

1. Андриевский Р. А. Микро-и наноразмерный карбид бора: синтез, структура и свойства //Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 6. – С. 549 – 559.
2. V. Domnich [et al.] Boron carbide: structure, properties, and stability under stress //Journal of the American Ceramic Society. – 2011. – Vol. 94, № 11. – P. 3605 – 3628.
3. S. Sasaki [et al.] Thermoelectric properties of boron-carbide thin film and thin film based thermoelectric device fabricated by intense-pulsed ion beam evaporation //Science and Technology of Advanced Materials. – 2005. – Vol. 6, №2. – P. 181.
4. J. C. LaSalvia [et al.] Ballistic impact damage observations in a hot-pressed boron carbide //Ceramic Engineering and Science Proceedings. – 2009. – Vol. 30, №5. – P. 45.
5. P. Foroughi, Z. Cheng Understanding the morphological variation in the formation of  $B_4C$  via carbothermal reduction reaction //Ceramics International. – 2016. – Vol. 42, №14. – P. 15189-15198.

6. A. Mishra [et al.] Synthesis of low carbon boron carbide powder using a minimal time processing route: Thermal plasma //Journal of Asian Ceramic Societies. – 2015. – Vol. 3, №4. – P. 373-376.

7. Y. Su, H. Wei, T. Li, H. Geng, and Y. Zhang Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge //Mater. Res. Bull. – 2014. – Vol.50. – P.23-25.

8. Pak A. Y., Mamontov G. Y. Boron Carbide Synthesis in Low-Voltage DC Electric Arc Initiated in Open Air //Technical Physics Letters. – 2018. – Vol. 44, №7. – P. 615-617.

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Масягин В. Б., к.т.н. профессор  
Мухолзоев А. В.*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
E-mail: [muholzoev@tpu.ru](mailto:muholzoev@tpu.ru)*

Размерный анализ – это совокупность расчетно-аналитических процедур, осуществляемых при разработке и анализе технологических процессов механической обработки [1]. Грамотно проведенный размерный расчет, сократит основное время, снизит износ дорогостоящего оборудования, уменьшит металлоемкость. Но, в то же время, является сложной и трудоемкой задачей.

С целью снижения трудозатратности размерного анализа технологических процессов разрабатывается программное средство. Разработана математическая последовательность расчета, особенностью которого является простота алгоритмизации, что позволяет производить размерный анализ без трудоемких процедур выявления размерных цепей [2].

Целью данной работы – является разработка архитектуры будущего программного средства которая состоит из четырех основных блоков, представленных на Рис. .

В качестве исходных данных используются конструкторский и технологические эскизы, операционные допуски, минимальные припуски на обработку. На основании полученных данных производится составление матриц смежности, последовательность составления этих матриц подробно описана в работе [2]. Полученные матрицы рассчитываются по алгоритмам, представленным в работах [2], [3] и [4]. Далее, программа проверяет выдерживаются ли конструкторские размеры и выводит, в качестве результата, рассчитанные номинальные значения и предельные отклонения операционных размеров. Более подробно структура разрабатываемого программного средства проиллюстрирована на Рис. .

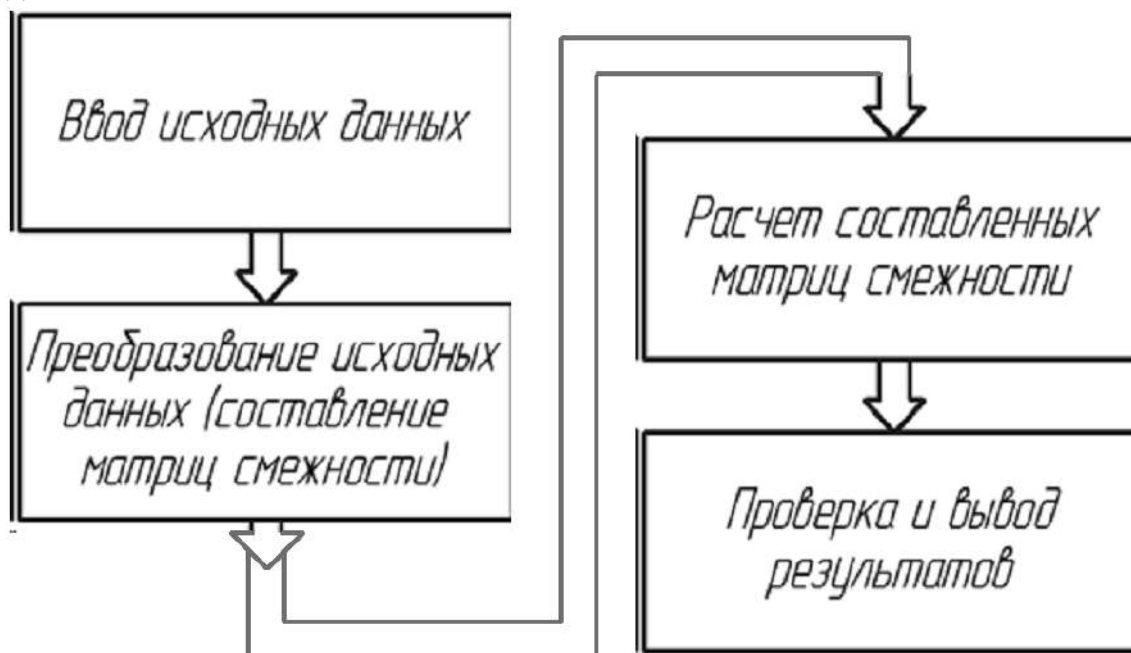


Рис. 1 Основные этапы работы программного средства.

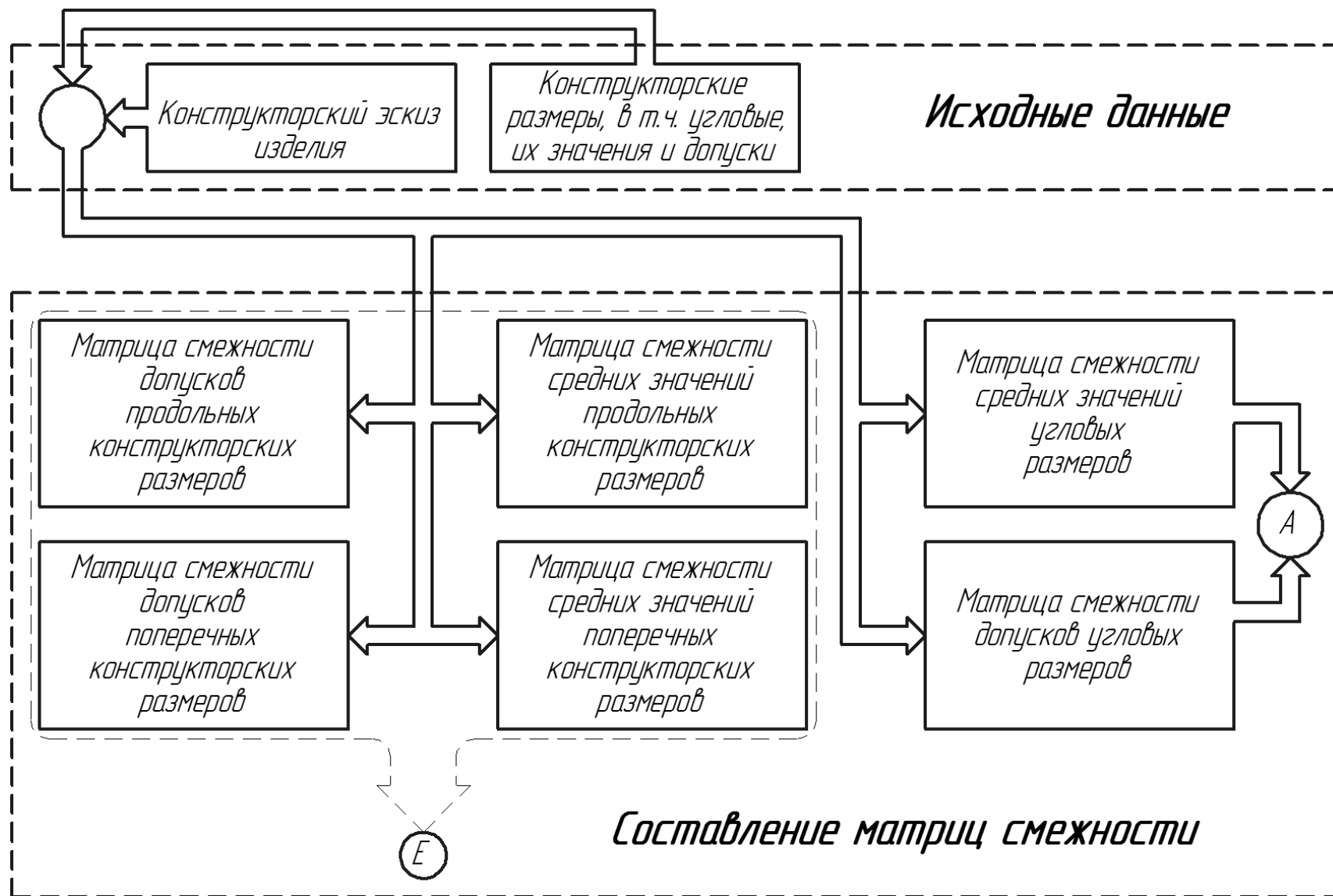


Рис. 2 (начало). Общая структура программного средства для размерного анализа технологических процессов.

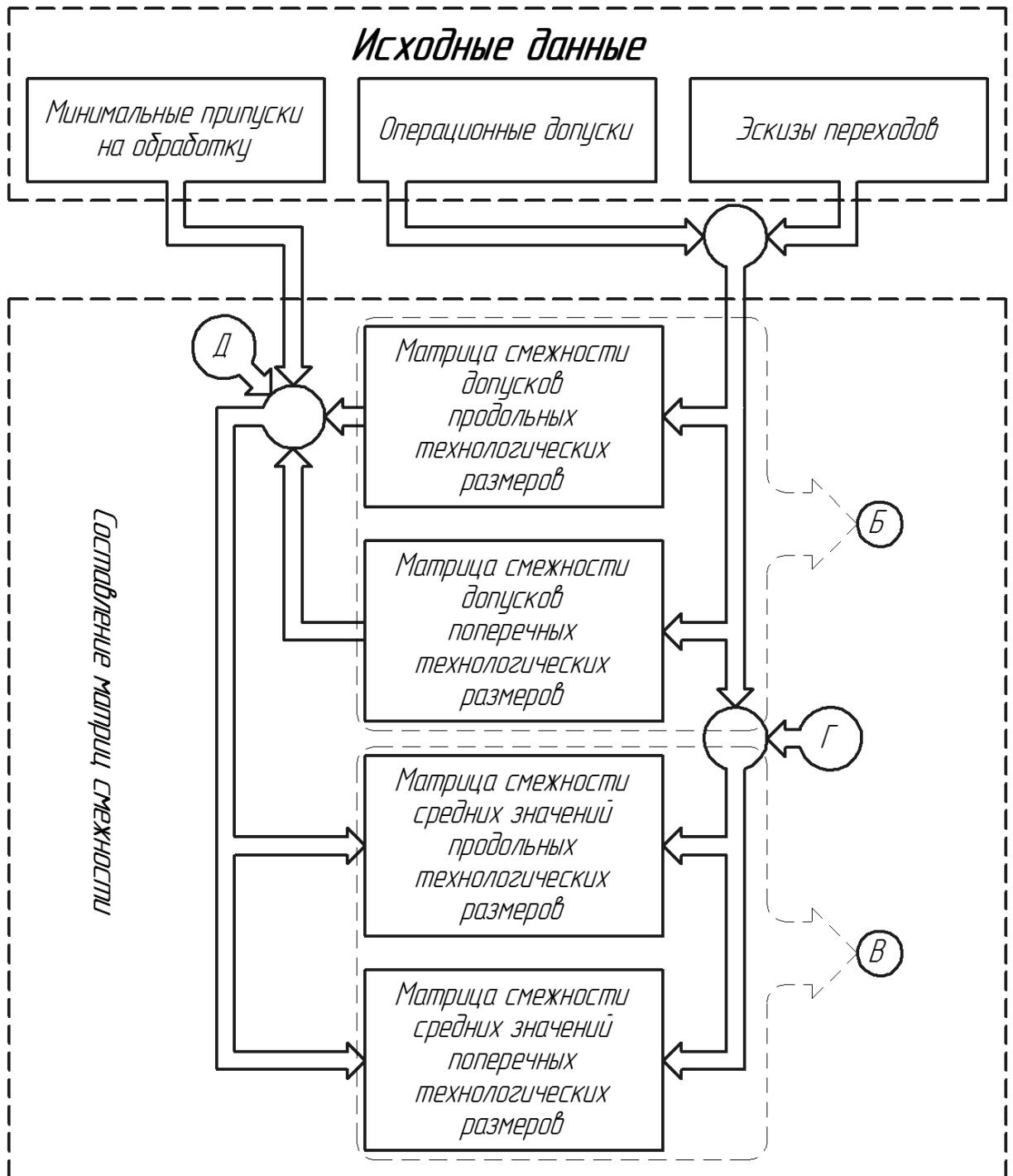


Рис. 2 (продолжение). Общая структура программного средства для размерного анализа технологических процессов.



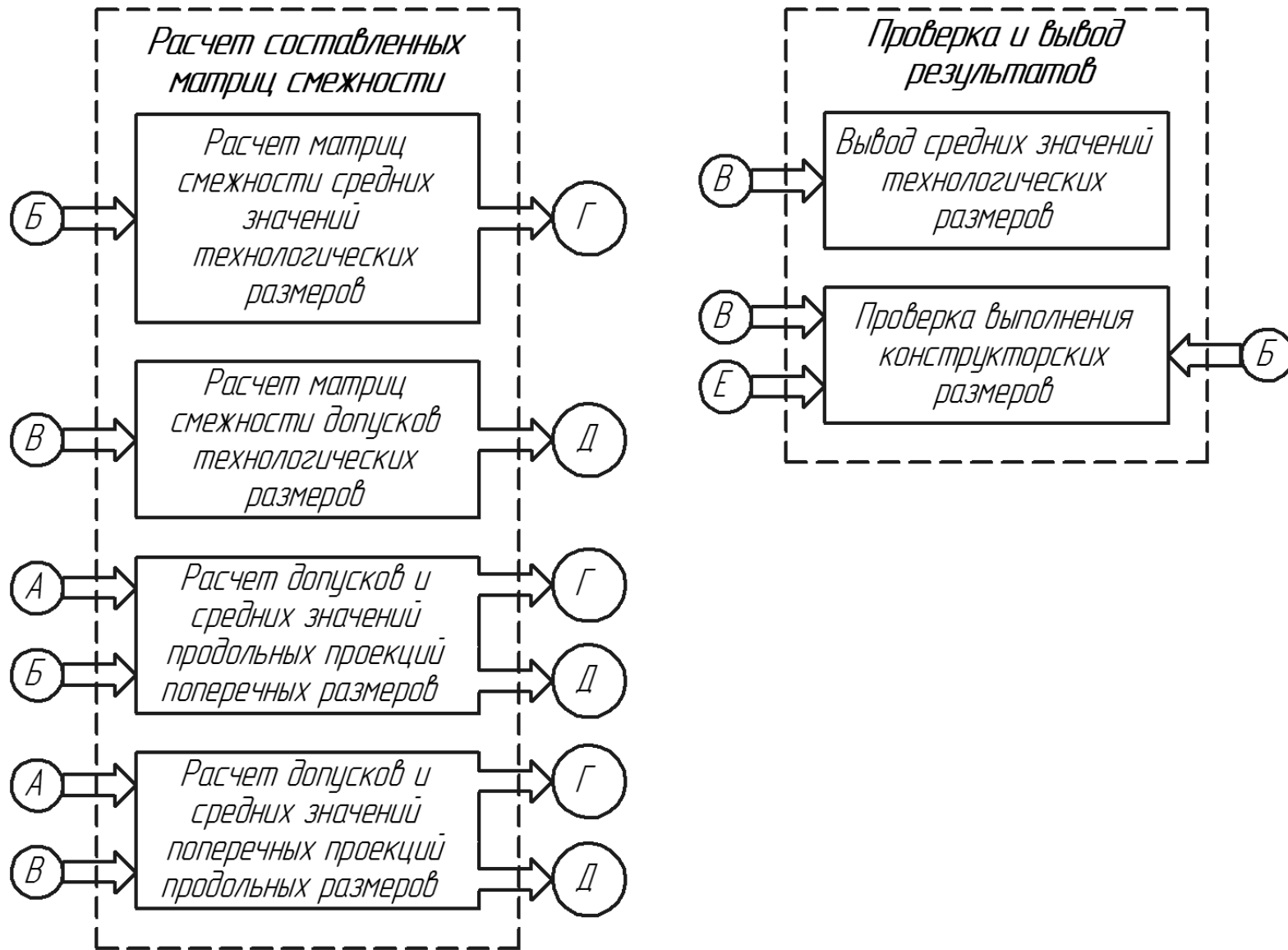


Рис. 2 (окончание). Общая структура программного средства для размерного анализа технологических процессов.

Представленная структура обеспечивает решение вопроса автоматизации размерного анализа технологических процессов.

Основным недостатком разработанной структуры является слабая обратная связь – отсутствие возможности динамически, в процессе работы, редактировать исходные данные. Исправить этот недостаток может создание диалога с пользователем в процессе расчета.

#### **Список литературы.**

1. Матвеев В. В. Размерный анализ технологических процессов. В. В. Матвеев, М. М. Тверской, Ф. И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
2. Мухолзоев, А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т.15, №3. – С. 48-55.
3. Muholzoev A and Masyagin V Probabilistic calculation of tolerances of the dimension chain based on the floyd-warshall algorithm // 2016 Procedia Engineering 150 p 959 – 962
4. Масыгин В. Б. Мухолзоев А. В. Исследование особенностей размерного анализа технологических процессов изготовления изделий, имеющих угловые элементы, с учетом погрешностей углов наклона // [Вестник машиностроения](#). 2017. [№ 1](#). с. 20-23.

## **СЕКЦИЯ 6. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПАСПОРТА БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА**

*Е.В. Вержбицкий, студент гр. IEM71*

*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

*А.А. Сечин, к.т.н., доц.*

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

*E-mail: [auct-68@yandex.ru](mailto:auct-68@yandex.ru)*

Мероприятия, обеспечивающие защищенность производственных объектов и населения страны от потенциальных угроз как техногенного, так и природного характера выполняются согласно рекомендациям приказа МЧС №506 [1]. По нему определяются показатели потенциального и индивидуального риска на объекте. Актуальность данного вопроса несомненна, так как определяются не только значения потенциального пожарного риска, но и формируются мероприятия, призванные обеспечивать безопасное функционирование производственных объектов различной форм собственности [2].

Определение значений потенциального пожарного риска  $P(a)$  ( $\text{год}^{-1}$ ) в некоторой рассматриваемой точке ( $a$ ) расположенной как на территории объекта, так и в селитебной зоне определяется по выражению:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (1)$$

где:  $J$  – число проанализированных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций (ЧС);  $Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения людей на рассматриваемой территории ( $a$ ) в ходе развития  $j$ -го сценария;  $Q_j$  – частота реализации  $j$ -го сценария развития ЧС в течение года,  $\text{год}^{-1}$  [3].

Проводится анализ риска при различных ситуациях, определяются зоны поражения опасными факторами пожара, взрыва и частота реализации ЧС. Традиционно анализируемая территория делится на участки, внутри которых величины  $P(a)$  учитывают совместное действие одного и более опасного фактора.

В данной работе, представлен опыт разработки паспорта безопасности опасного производственного объекта, рассматривается реализация сценария со взрывом резервуара с легковоспламеняемой жидкостью под давлением, находящегося в очаге пожара. Условная вероятность поражения человека обязательно проводится с учетом воздействия, как теплового излучения огненного шара, так и воздействия волны давления.

Величину вероятности поражения человека  $Q_{djk}(a)$  от совместного независимого воздействия более одного опасного фактора в исходе  $j$ -го сценария развития ЧС определялось по выражению:

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)), \quad (2)$$

где:  $h$  – количество рассматриваемых опасных факторов;  $Q_k$  – вероятность реализации  $k$ -го опасного фактора;  $Q_{djk}(a)$  – условная вероятность поражения  $k$ -ым опасным фактором.

Частота поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года определяет индивидуальный пожарный риск (далее – индивидуальный риск) для персонала.

Должность работника, его категорию и иные особенности его профессиональной деятельности, необходимые для оценки пожарной безопасности однозначно определяет параметр  $m$ . Методика допускает выполнение расчета индивидуального риска для работника объекта, причисляя его в одну категорию с наиболее опасной профессией [2].

При нахождении работника на территории объекта параметр индивидуального риска  $R_m$  (год<sup>-1</sup>) для  $m$  объекта определялось по выражению:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (3)$$

где  $P(i)$  – значение потенциального риска в  $i$ -ой точке территории объекта, год<sup>-1</sup>;  
 $q_{im}$  – вероятность нахождения работника  $m$  в  $i$ -ой точке территории объекта;  $I$  – область территории исследуемой площадки.

В таблице 1 представлены показатели потенциального и индивидуального рисков поражения человека на технологической площадке УПН.

Таблица 1 – Показатели потенциального риска поражения человека

Сценарий	Условная вероятность поражения человека	Частота реализации сценария	Показатель потенциального риска
<i>Блок резервуарного парка РВС–10000</i>			
С1-РВ	0,00	$2,10 \cdot 10^{-5}$	0
С1-ПВ	0,00	$1,79 \cdot 10^{-5}$	0
С1-Г	0,00	$6,30 \cdot 10^{-6}$	0
<i>Блок нефтегазовых сепараторов НГСВ</i>			
С1-РВ	0,00	$1,24 \cdot 10^{-5}$	0
С1-ПВ	0,00	$1,05 \cdot 10^{-5}$	0
С1-Г	0,00	$3,72 \cdot 10^{-6}$	0

Предполагается, что расчет показателей потенциального риска по данной методике является недостаточным. Для уточнения расчетных параметров принято решение рассмотреть расчет оценки потенциального риска по руководству, утвержденному приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 г. №144. [4].

В рамках текущих методических материалов для проведения расчета условной вероятности разрушений объектов и поражения находящегося поблизости персонала волнами избыточного давления используются такие пробит-функции как:

– вероятность повреждения стен производственных сооружений, которая предписывает восстановление зданий без значений их износа по соотношению [4-6]:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln V_1, \quad (4)$$

где:

$$V_1 = \left( \frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{I} \right)^{9,3}; \quad (5)$$

где:  $\Delta P$  – избыточное давление, Па;  $I$  – импульс, кг·м/с.

– вероятность разрушения производственных сооружений, предписывающих снос здания, оценивалось по выражению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \cdot \ln V_2, \quad (6)$$

где:

$$V_2 = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7.4} + \left(\frac{460}{I}\right)^{11.3}. \quad (7)$$

– вероятность состояния нокдауна у людей (долгосрочной потери управляемости), оказавшихся в зоне действия воздушной ударной волны при реализации взрыва облака ТВС, оценивалось по значению пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \cdot \ln V_3, \quad (8)$$

где:

$$V_3 = \frac{4.2}{\bar{p}} + \frac{1.3}{\bar{i}}, \quad (9)$$

$$\bar{p} = 1 + \frac{\Delta P}{P_0}, \quad (10)$$

$$\bar{i} = \frac{I}{P_0^{2/3} \cdot m^{1/3}}. \quad (11)$$

$m$  – масса человека, кг;  $P_0$  – атмосферное давление, Па;

– вероятность разрыва барабанных перепонок у людей в зависимости от разности перепада давления в воздушной волне определялось по выражению:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \cdot \ln \Delta P \quad (12)$$

– вероятность отброса человека воздушной ударной волной давления рассчитывается по значению пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \cdot \ln V_5, \quad (13)$$

где:

$$V_5 = \frac{7.38 \cdot 10^{-3}}{\Delta P} + \frac{13 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I}. \quad (14)$$

Когда пробит-функции применяются как зоны с величиной вероятности поражения 100%, принимаются зоны поражения, для которых параметр пробит-функции достигает значения, соответствующего вероятности равной 90%. Как безопасные, с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, для которых величины пробит-функции достигают значений, соответствующих вероятности равной 1% [4]. Был проведен перерасчет показателей потенциального риска в соответствии с вышеуказанными методическими указаниями. Для последующего анализа принимаются исследуемые радиусы поражения равный 50 и 100 м, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели потенциального риска поражения человека, пересчитанные по методике приказа Ростехнадзора №144

Сценарий	Радиус поражения, м	Условная вероятность поражения человека	Частота реализации сценария	Показатель потенциального риска
<i>Блок резервуарного парка РВС-10000</i>				
С1-РВ	50	0%	$2,10 \cdot 10^{-5}$	0
	100	0%	$2,10 \cdot 10^{-5}$	0
С1-ПВ	50	99%	$1,79 \cdot 10^{-5}$	$2,08 \cdot 10^{-5}$
	100	83%	$1,79 \cdot 10^{-5}$	$1,74 \cdot 10^{-5}$
С1-Г	50	0%	$6,30 \cdot 10^{-6}$	0
	100	0%	$6,30 \cdot 10^{-6}$	0

<i>Блок нефтегазовых сепараторов НГСВ</i>				
С1-РВ	50	2%	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$2,48 \cdot 10^{-7}$
	100	0%	$1,24 \cdot 10^{-5}$	0
С1-ПВ	50	99%	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$
	100	47%	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$5,83 \cdot 10^{-6}$
С1-Г	50	0%	$3,72 \cdot 10^{-6}$	0
	100	0%	$3,72 \cdot 10^{-6}$	0

В результате проведенного исследования были получены численные значения потенциального риска на блоках РВС и НГСВ площадки УПН. Наибольшим показателем потенциального риска обладает сценарий ПВ на обоих технологических блоках. В радиусе 50–100 метров условная вероятность поражения человека Р находится в диапазоне от 99–83% на РВС и 99–47% на НГСВ соответственно. В связи с этим ожидаемый показатель потенциального риска представляет собой значение  $2,08 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> для РВС и  $1,25 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> для НГСВ в непосредственной близости от места взрыва.

### Список литературы:

1. Приказ МЧС № 506 от 4.11.2004 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта».
2. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. N 404 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (с изменениями и дополнениями).
3. Приказ МЧС от 10.07.2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
4. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 г. №144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
5. Федеральный закон ФЗ от 20.06.1997 г. №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
6. Сечин А.И. Разработка алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода / А.И. Сечин, Ю.В. Анищенко, А.И. Попов; науч. рук. А. И. Сечин // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. в 3 т. / НИ ТПУ. — 2016. — Т. 1. — [С. 189-192]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35055>

**ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСПИРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В  
ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ЩЕБНЯ НА ДРОБИЛЬНО-  
СОРТИРОВОЧНОМ ЗАВОДЕ**

*М.В. Гуляев, ст.преподаватель,  
А.А. Сечин, к.т.н., доц.,  
А.И. Сечин, д.т.н., проф.,  
М.Э. Гусельников, к.т.н., доц.*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,  
тел.(3822)-606-497*

*E-mail: [gmv@tpu.ru](mailto:gmv@tpu.ru)*

Щебень как продукт дробления горной породы различного фракционного состава, применяется в качестве заполнителей при производстве блоков, панелей и других элементов стеновых бетонных конструкций, для асфальто-укладочных работ и для производства тротуарной плитки.

Работа дробильно-сортировочного оборудования связано с выбросом большого количества пыли, что представляет значительный вред для окружающей среды и человека, а так же вызывает преждевременный износ промышленного оборудования. Поэтому задача снижения выбросов пыли в атмосферу на данном заводе актуальна.

Переработка речного гравия до определенной фракции строительного щебня осуществляется по двухстадийной технологической схеме и включает в себя процессы дробления, сортировки (грохочения), транспортировки и складирования товарной продукции. Объектом исследования является дробильно-сортировочный завод, специализирующийся по производству строительного щебня. Цель работы заключается в разработке инженерно-технических мероприятий по снижению запыленности воздушной среды на участке дробления и сортировки щебня.

На первой стадии дробления песчано-гравийная смесь со склада подается автомобильным транспортом в приемный бункер, который имеет колосниковую решетку с ячейкой 20х20 см., затем качающийся питатель подает ее на ленту транспортера №24. Предварительное грохочение осуществляется на вибрационном грохоте ГИЛ-52, здесь же производится отбивка грязевых включений. Крупная фракция гравия поступает в щековую дробилку СМ-166А и после дробления вместе с мелкой фракцией отводится по транспортерам на участок вторичного дробления, где в качестве аппарата дробления используется конусная дробилка КМД-2200Т. На участке сортировки по фракциям используются вибрационные грохота ГИЛ-52 три основных и три резервных. Готовые фракции отводятся на склад продукции, а щебень более крупный возвращается снова в цикл работы КМД-2200 для повторного дробления.

Рисунок 1.



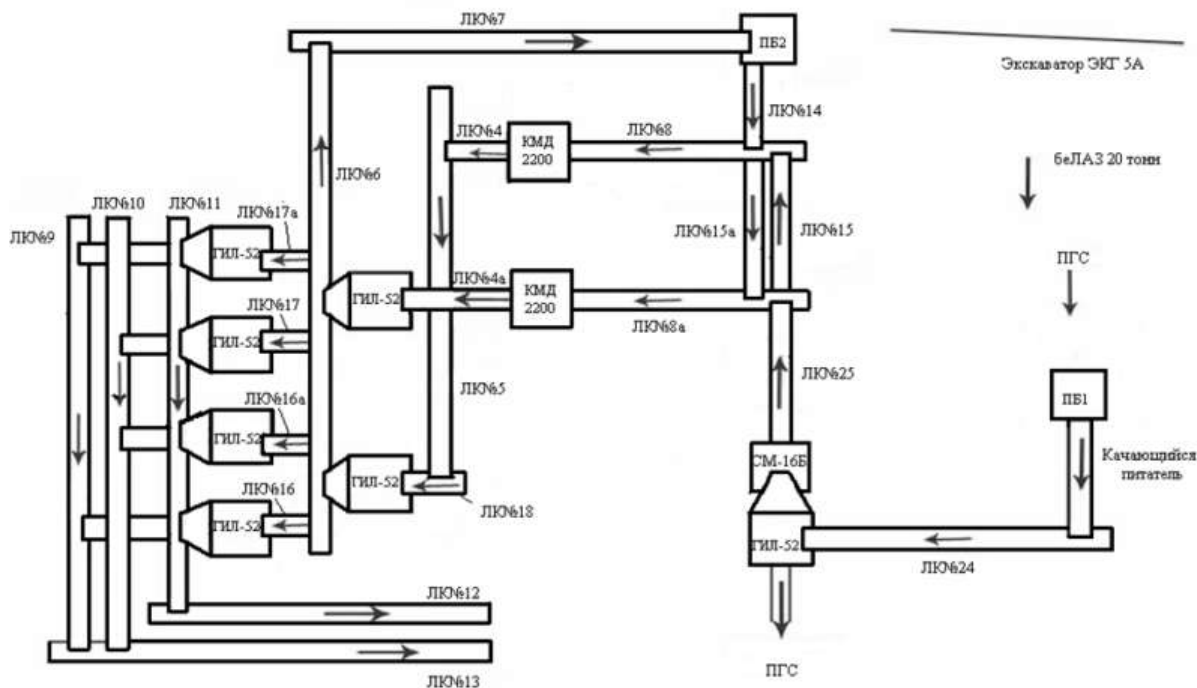


Рис. 1. Технологическая схема производства строительного щебня

Анализ технологического процесса показал, что к первичным источникам загрязнения окружающей среды относится все технологическое оборудование (конусная дробилка КМД-2200; вибрационные грохота ГИЛ-52; места пересыпки продукта с транспортера на транспортер). Вторичными источниками загрязнения является пыль, осевшая на конструкциях технологического оборудования и технологических площадках, а так же в местах экскавации и пересыпки.

Исследования показали, что наиболее интенсивными источниками выделения пыли являются конусная дробилка и вибрационные грохоты (табл. 1.).

Для снижения запыленности воздуха на дробильно-сортировочных площадках нами предложены следующие мероприятия:

- Герметизация пылящего технологического и транспортного оборудования с помощью специально разработанных аспирационных укрытий мест пылеобразования.
- Устройство аспирации; эффективная очистка воздуха перед выбросом в атмосферу;

Предложен метод аспирации источников пылевыведения с учетом специфической особенности технологии по производству строительного щебня на открытых дробильно-сортировочных площадках в условиях Сибири и разработаны конструкции аспирационных укрытий мест наиболее интенсивного пылеобразования.

При проектировании аспирационных укрытий, особое внимание уделялось изучению характера образования пылевоздушных потоков, направлению их движения и зон распространения. [1, 2] Именно эти факторы являлись определяющими при выборе мест аспирации, формы укрытия, необходимой степени герметизации, а также мест подсоединения воздухопроводов. [3]

Таблица 1. Запылённость воздуха по технологической линии дробильно-сортировочного оборудования.

Место отбора проб	Содержание пыли в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Примечания
Над загрузочным зевом дробилки CM-166A	1280	Аспирация отсутствует

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

В месте выхода продукта дробления	2850	Аспирация отсутствует
Над загрузочным зевом дробилки КМДТ-2200	3440	Укрытие не аспирируемое
В месте выдачи раздробленного материала	18800	Укрытие отсутствует
В месте поступления материала на деку вибрационного грохота ГИЛ-52(1)	760	Аспирация отсутствует
Над средней частью рабочей поверхности сита	4880	Укрытие отсутствует
В месте выдачи материала со второго сита на ленту конвейера	1288	Укрытие не аспирируемое
В месте поступления материала на деку вибрационного грохота ГИЛ-52(2)	1730	Укрытия не аспирируемые
Над средней частью рабочей поверхности сита	5380	Укрытия отсутствуют
В месте выдачи материала со второго сита на ленту конвейера	3780	Брезентовые укрытия
Над транспортёром после первой стадии дробления	2520	Скорость ленты 1,6 м/с
Над транспортёром после второй стадии дробления	4950	Скорость ленты 1,7 м/с

Затем проводился выбор элементов аспирационной системы и расчёт их основных параметров.

Очистка пылегазовой смеси производится на циклонах НИИОГАЗ марки ЦН-15.

Эффективность пылеулавливания составила от 80 до 90%, что позволило улучшить санитарно-гигиеническую обстановку по пылевому фактору.

Установлено, что разгрузку бункеров циклонов целесообразно производить при помощи присоединяемых рукавов, в специальные герметичные емкости, оборудованные на базе автомобилей а в дальнейшем использовать в производстве номенклатурной продукции.

**Список литературы:**

1. Gulayev M.V., Sechin A.I., Sechin A.A., Kirillova V.G. Investigation of air dustiness in production and treatment of nonmetallic construction materials / В сборнике: Proceedings - 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005. sponsors: Novosibirsk State Technical University. Novosibirsk, 2005. С. 151-153.
2. Аршинский М.И., Асламов А.А., Асламова В.С. Прогноз эффективности очистки группового циклона ПЦПО по усовершенствованному методу/ Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2013. Т. 1. С. 177-182.
3. Гуляев М.В. Исследование уровней запылённости воздушной среды при добыче и переработке нерудных строительных материалов / М.В. Гуляев, А.А. Сечин, А.И. Сечин // Энергетика: экология, надежность, безопасность : материалы докладов одиннадцатой Всероссийской научно-технической конференции, Томск, 7-9 декабря 2005 г. / Томский политехнический университет; РФФИ; Международная энергетическая академия; Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности; Энергетика: экология, надежность, безопасность, Всероссийская научно-техническая конференция. — Томск: Изд-во ТПУ, 2005. — С. 409-412.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЕСПЫЛИВАЮЩИХ УКРЫТИЙ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА

*М.В. Гуляев, ст.преподаватель,*

*А.А. Сечин, к.т.н., доц.,*

*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

*М.Э. Гусельников, к.т.н., доц.*

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

*тел.(3822)-606-497*

*E-mail: [gmv@tpu.ru](mailto:gmv@tpu.ru)*

До настоящего времени дробильное оборудование, которое являлось основным источником образования технологической пыли и её последующего выделения в воздух рабочих помещений, имело разнообразные по конструкции и малоэффективные пылевые укрытия. Выбросы пыли ухудшают экологические условия регионов, вызывают преждевременный износ промышленного оборудования, способствуют возникновению профессиональных заболеваний обслуживающего персонала. Особенно остро стоит проблема улавливания выделяющейся с газами тонкодисперсной пыли. Актуальность данного вопроса и поставило цель настоящего исследования: Реконструкция аспирационных укрытий в производстве строительного кирпича.

В технологической производственной цепи переработки нерудного материала практически все операции являются источниками интенсивного пылевыделения. К ним относятся элементы дробильно-сортировочного оборудования: молотковая и роторная дробилки, ленточные конвейеры, дозаторы готового продукта. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований для снижения запыленности воздуха в рабочей зоне участка изготовления шамота в производстве строительного кирпича. Предложен рациональный способ обеспыливания воздуха – аспирация технологического оборудования и спроектированы эффективные конструкции укрытий мест наиболее интенсивного пылеобразования.

В результате проведенного исследования было выявлено, что установленные над некоторыми дробилками зонтичные укрытия, не эффективны. Отдельные агрегаты были помещены в емкие сварные укрытия, которые обеспечивали локализацию пылевоздушных потоков у работающего агрегата, но способствовали осаждению пыли в готовый продукт, что вызывало в последующем образование высоких концентраций пыли в пространстве над конвейерами, в местах пересыпки материала и вызывало повышенный износ отдельных технологических узлов, что требовало частых остановок на профилактику и ремонт.

Проектирование систем эффективного обеспыливания сводится к выявлению зависимости объемов аспирации от увлекающего (эжектирующего) действия материала, перемещающегося по желобам (течкам), в полостях дробильного оборудования и его укрытия. При этом для дробильно-сортировочного оборудования (молотковых и роторных дробилок, дозаторов) учитывался фактор создания направленных воздушных потоков и выноса ими пыли при перемещении рабочих органов. Определение объемов аспирации из-под обеспыливающих укрытий предусматривало корректировку с учетом специфики режимов работы технологического оборудования, с помощью метода итерационных приближений.

При проектировании были учтены следующие условия:

1. соответствие формы укрытия аэродинамике пылевоздушных потоков, характеризующих каждый очаг пылеобразования. [1]

2. объем укрытия принимался минимальным, исключая возможность оседания мелкодисперсной пыли обратно в готовый продукт непосредственно в полости укрытия. В укрытии устанавливалось устройство для гашения скорости и последующего направления пылевоздушных потоков в зону действия аспирационного отсоса. [2]

3. место аспирации устанавливалось с учетом конструктивных особенностей технологического оборудования;

4. обеспечения герметичности соединения укрытия с оборудованием и отдельных узлов, исключало выбивание пылевых потоков; [3]

5. простота конструкции в изготовлении и удобства в эксплуатации. Последнее обеспечивает быстрый доступ к рабочим узлам оборудования и исключает демонтаж укрытий при ремонтных работах.

При проектировании укрытия было учтено его размещение в фундаментных нишах с учетом расположения основного оборудования.

Результаты исследования и учет сформулированных положений легли в основу разработки и проектирования обеспыливающих укрытий дробильно-сортировочного оборудования участка производства шамота: укрытия роторной и молотковой дробилок; приемного бункера; мест пересыпки с транспортера на транспортер; дозаторов готового продукта. [1-4]

Корпуса укрытий имеют коробчатую форму, и изготовлены из листовой стали толщиной 5 мм. Крепления к основному оборудованию осуществлялось с помощью болтов и сварки. Герметичность укрытий обеспечивается резиновыми уплотнителями. Для обеспечения необходимой герметизации и уменьшения объема аспирации воздуха в верхней части пересыпной точки установлены резиновые фартуки. Аспирационные отсосы, выполнены из листовой стали и крепятся болтами через резиновую прокладку к корпусу обеспыливающего укрытия. Они устанавливаются в зонах с повышенным давлением с учетом естественного направления движения пылевого потока и обеспечивают полную герметизацию источника вредных выделений.

Воздуховоды аспирационной системы выполнены круглого сечения из листовой стали толщиной три миллиметра с учетом абразивности транспортируемой пыли.

Эксплуатация аспирационной системы показала ее высокую эффективность и быстрый срок окупаемости.

#### **Список литературы:**

1. Gulayev M.V., Sechin A.I., Sechin A.A., Kirillova V.G. Investigation of air dustiness in production and treatment of nonmetallic construction materials / В сборнике: Proceedings - 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005. sponsors: Novosibirsk State Technical University. Novosibirsk, 2005. С. 151-153.
2. Гуляев М.В. Реконструкция системы пылеочистки в производстве строительных материалов / М.В. Гуляев, А.И. Сечин, А.А. Сечин // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докладов XV Всеросс. науч.-техн. конф., 9-11 декабря 2009 г., Томск / ТПУ [и др.]; под ред. В.В. Литвака. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — С. 185-187.
3. Гуляев М.В. Исследование запылённости воздушной среды в производстве строительного кирпича и разработка способов пылеподавления [Электронный ресурс] / М.В. Гуляев, А.И. Сечин, А.А. Сечин // Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий: материалы III Всеросс. научн. конф., Томск, 2-4 сентября 2004 г. / ТПУ. — Томск: 2004. — С. 268-270. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2004/K01/41187.pdf>

4. Гуляев М.В. Аспирационные укрытия дробильно-сортировочного оборудования участка производства шамота [Электронный ресурс] / М.В. Гуляев, А.И. Сечин, А.А. Сечин // Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий: материалы III Всеросс. научн. конф., Томск, 2-4 сентября 2004 г. / Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева; ТПУ. — Томск: 2004. — С. 270-272.— Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.  
Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2004/K01/41188.pdf>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И РАЗРАБОТКА  
САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
НЕРУДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

*М.В. Гуляев, ст.преподаватель,*

*А.А. Сечин, к.т.н., доц.,*

*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

*М.Э. Гусельников, к.т.н., доц.*

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

*тел.(3822)-606-497*

*E-mail: [gmv@tpu.ru](mailto:gmv@tpu.ru)*

При добыче и переработке нерудных строительных материалов особое место занимают вопросы снижения запыленности воздушной среды на дробильно-сортировочных площадках, которая не только ухудшает условия и снижает производительность труда, но и в ряде случаев приводит к тяжелым профессиональным легочным заболеваниям [1].

В рассматриваемом технологическом процессе, основная масса пылевого аэрозоля образуется в процессе дробления. Часть аэрозоля под воздействием направленных потоков выносится в воздухе рабочей зоны, ухудшая санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала. Другая часть, не осевшая в аппаратах пылеосаждения, выбрасывается в атмосферу и загрязняет воздух прилегающих территорий. Пыль попадает в жилые и общественные помещения, оказывая вредное воздействие на здоровье населения. Часть пыли остается в готовом продукте (щебне), резко снижая его качество по предельному содержанию пылевидных частиц, строго регламентируемому стандартами [2].

В зависимости от условий образования исходных горных пород и процессов их переработки, в вопросах обеспыливания особого внимания заслуживают размеры пылевых частиц, их форма, удельный вес, удельная поверхность, форма частиц, химический состав и физико-механические свойства.

Для оценки санитарно-гигиенических условий труда, а также получения необходимых данных при разработке комплекса инженерно-технических мероприятий по снижению загрязненности атмосферы пылью, были проведены исследования запыленности воздуха на рабочих местах и вдоль технологической линии дробильно-сортировочного оборудования, гранулометрического и минералогического составов витающей и осевшей пыли [2-4].

Проведенный анализ запыленности воздушной среды показал, что при отсутствии обеспыливания первичных источников пылеобразования (дробилок) практически все технологическое оборудование дробильно-сортировочных площадок становится источником загрязнения атмосферы. Технологическая схема производства приведена на рисунке 1.

На первой стадии в приемный бункер через ячейку колосниковой решетки размером 20×20 см засыпается песчано-гравийная смесь, потом качающийся питатель подает ее на ленту транспортера на вибрационный наклонный грохот ГИЛ-52. Где происходит первичная сортировка гравия и отбивка грязевых включений. В качестве аппарата дробления на первой стадии используется щековая дробилка СМ-16Б. В колосниковую решетку проваливается более мелкие фракции, которые попадают по ленточному транспортеру на конусную дробилку КМД-2200, а крупная поступает в щековую дробилку СМ-16Б и далее на ту же КМД-2200, которая используется в качестве аппарата дробления на второй стадии.

При сортировке гравия на второй стадии также используются вибрационные грохота ГИЛ-52, где происходит разделение материала по необходимым фракциям. Крупная фракция снова возвращается для повторного дробления на КМД-2200, а мелкие фракции по ленточным транспортерам поступают на склад готовой продукции.

Проведенные исследования запыленности воздуха на технологической линии дробильно-сортировочного оборудования представлены в таблице 1.

В основу разработки технических мероприятий по снижению запыленности воздушной среды были предложены технические решения по локализации пылевоздушных потоков непосредственно у источников их образования. Также анализировалась возможность применения пылеподавления с помощью:

- воздушно-механической пены;
- конденсирующих веществ (пар, туман);
- предварительного глубокого смачивания гравия и его орошения непосредственно перед дроблением;
- аспирация технологического оборудования.

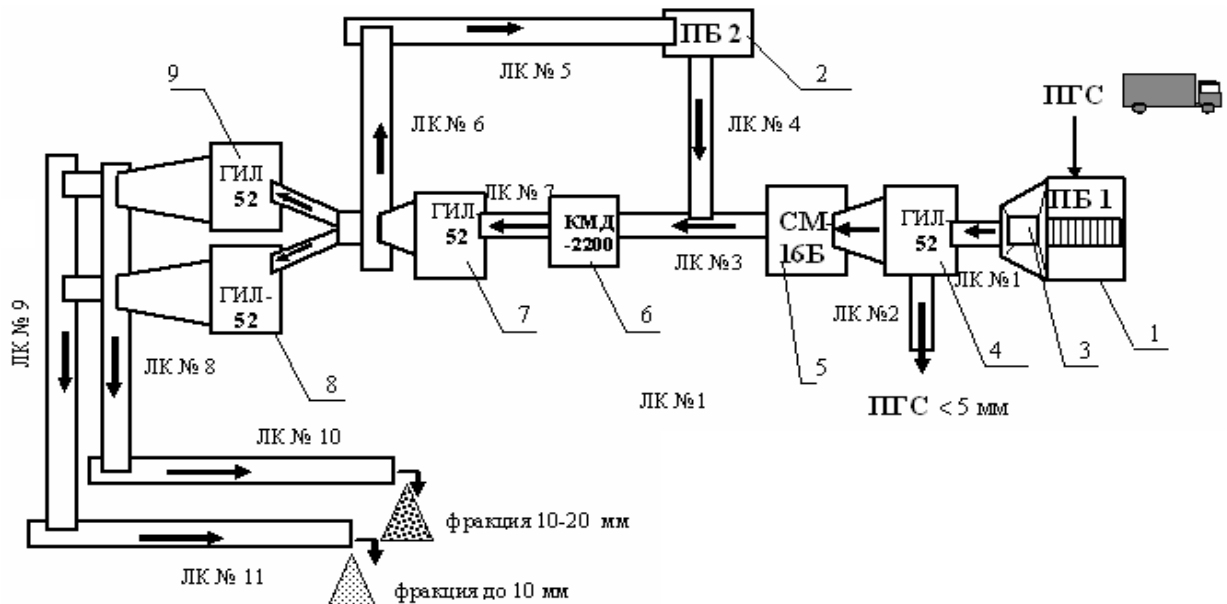


Рис. 1. Технологическая схема производства ПГС – песчано-гравийная смесь; 1 – приемный бункер №1; 2 – приемный бункер №2;

3 – качающийся питатель; 4,7,8,9 – наклонные вибрационные грохота; 5 – щековая дробилка СМ-16Б; ЛК № 1-11 – ленточные конвейеры

Поскольку каждый из перечисленных способов в принципе позволяет решить поставленную задачу, особое внимание было уделено необходимости исключения вторичного пыления при транспортировке и грохочении щебня.

Таблица 1. Запыленность воздуха по технологической линии дробильно-сортировочного оборудования

Место отбора проб	Содержание пыли в воздухе в мг/м <sup>3</sup>
Над загрузочным зевом дробилки СМ-16Б	63
В месте выхода продукта дробления из СМ-16Б	125
Над загрузочным зевом дробилки КМД-2200	162



В месте выдачи раздробленного материала из КМД-2200	1820
В месте поступления материала на деку вибрационного грохота ГИЛ-52 (первая стадия грохочения)	1120
• Над средней частью рабочей поверхности сита	872
• В месте выдачи материала на ленточный конвейер 6, рис. 1.	634
Над транспортером после второй стадии грохочения ГИЛ-52 (ленточный конвейер 8, рис. 1)	188
Над транспортером после второй стадии грохочения ГИЛ-52 (ленточный конвейер 9, рис. 1)	163

Наиболее перспективным способом явилась аспирация дробильно-сортировочного оборудования. Сухое обеспыливание является наиболее целесообразным, исходя также из специфических климатических условий Западной Сибири - длительного периода отрицательных температур, когда применение способов пылеподавления на основе воды неэффективно или невозможно.

Проведенные исследования позволили провести выбор рационального метода борьбы с запыленностью воздушной среды путем аспирации источников пылевыделения с учетом специфической особенности технологии по производству строительного щебня на открытых дробильно-сортировочных площадках и разработать конструкции аспирационных укрытий мест наиболее интенсивного пылеобразования.

При проектировании аспирационных укрытий для конусной и щековой дробилок, особое внимание было уделено изучению характера образования пылевоздушных потоков, направлению их движения и зон распространения. Эти факторы явились определяющими при выборе мест аспирации, форм укрытия, необходимой степени герметизации, а также мест подсоединения воздухопроводов.

Внедрение разработанных мероприятий показало их эффективность и позволило снизить запыленность воздушной среды на территории предприятия.

#### **Список литературы:**

1. Gulayev M.V., Sechin A.I., Sechin A.A., Kirillova V.G. Investigation of air dustiness in production and treatment of nonmetallic construction materials / В сборнике: Proceedings - 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005. sponsors: Novosibirsk State Technical University. Novosibirsk, 2005. С. 151-153.
2. Гуляев М.В. Исследование уровней запылённости воздушной среды при добыче и переработке нерудных строительных материалов / М.В. Гуляев, А.А. Сечин, А.И. Сечин // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докладов одиннадцатой Всероссийской научно-технической конференции, Томск, 7-9 декабря 2005 г. / ТПУ. — Томск: Изд-во ТПУ, 2005. — С. 409-412.
3. Бобровников Н.А. Охрана окружающей среды от пыли на предприятиях строительной индустрии. – М.: Стройиздат, 1981. – 99 с.
4. Еремин Н.Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов: Учеб. Для Вузов по спец. “Пр-во строит. Изделий и конструкций”: - М.: Высш. Шк., 1986. – 280 с.

## ТАКТИКА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ

*М.В. Гуляев, ст.преподаватель,*

*А.А. Сечин, к.т.н., доц.,*

*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

*М.Э. Гусельников, к.т.н., доц.*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,  
тел.(3822)-606-497*

*E-mail: [gmv@tpu.ru](mailto:gmv@tpu.ru)*

Нормативные документы, направленные на предупреждение и ликвидацию возникшей чрезвычайной ситуации (ЧС), предписывают разработку всевозможных сценариев развития ЧС при самых неблагоприятных условиях [1]. Следующая затем разработка система мероприятий наиболее полно характеризует учет опасностей возникающих в этот период. Актуальность данного вопроса несомненна, что и послужило темой настоящего исследования – Тактика тушения пожара в резервуарном парке.

При решении поставленной цели следовало провести расчет необходимых сил и средств привлекаемых на ликвидацию условного пожара в резервуарном парке нефтеперекачивающей станции (НПС) располагаемых в данном регионе.

Основой сценария развития ЧС явилась прогнозируемая авария в резервуарном парке, вследствие которой происходит открытое горение РВС(П)-20000 [2].

Анализ развития и ликвидации ЧС проводился на основе расчетов необходимых мобильных сил и средств прогнозируемой аварии связанной с пожаром в РВС(П) – 20000.

Самый опасный сценарий: Пожар возник в резервуарном парке НПС системы магистральных нефтепроводов. На резервуаре РВС(П)-20000, №3. Размеры РВС(П)-20000: высота – 11,9 м, диаметр – 45,6 м. Оборудование каждого резервуара: установка автоматического надслойного тушения; стационарная (неавтоматическая) установка подслоного тушения; стационарная (неавтоматическая) система охлаждения; автоматическая пожарная сигнализация; дыхательные клапаны; молниезащита.

Иницилирующим событием послужил удар молнии в РВС(П) во время грозового ливня. Через 19 минут горения произошёл мощный взрыв с выбросом крыши и разлётом фрагментов, без разлива нефти в обвалование.

На основе оперативно-тактического изучения объекта и проведенных расчетов были определены требуемые количества сил и средств на тушение пожара, разработан план тушения пожара и план подготовки пожарно-тактических учений и занятий.

Проанализировав постадийное развитие ЧС было установлено, что:

- время развития пожара с момента его возникновения до момента его обнаружения (2 мин. – так как на объекте в наличии АПС или АУПТ);
- время сообщения о пожаре в пожарную охрану (1 мин. – телефон находится в помещении дежурного);
- время сбора личного состава по тревоге–1 мин.;
- время следования пожарного подразделения (2 мин. На 1 км пути);
- время боевого развертывания (3 мин. При подаче 1-го ствола, 5 мин. В остальных случаях).

Таблица 1 – Результаты расчетов прогнозируемого пожара в резервуарном парке

Наименование показателей		Требуемое количество	Фактическое количество
Площадь пожара, м <sup>2</sup>		1756	
Линейная скорость выгорания, см/час		9-12	
Требуемый расход огнетушащих средств, л/с	ПО	87.7	120
	Воды на тушение	118,8	100
	Воды на защиту	141	167
	ГПС-2000	5	6
	РСК-50	3	24
	ПЛС-20	9	11
Воды, м <sup>3</sup>		3691	16000
АЦ		6	6
ПНС		0	1
АР		0	1
АЛ и АКП		1	1

Определение расстояния R, пройденного фронтом горения за время t показало средне-нормативный показатель [3].

При прогнозировании развития пожара было учтено [4], что форма площади пожара может меняться. Так, при достижении фронтом пламени ограждающей конструкции или края площадки, считалось, что фронт пожара спрямляется, и форма площади пожара изменяется. С учетом площади тушения пожара, было определено необходимое количество воды, пожарных стволов и рукавов для ее подачи. Также был учтен расход воды на охлаждение соседних резервуаров [5].

Определение ориентировочного времени наступления возможного выброса показало нахождения критического показателя в пределах средне-статистической величины.

Сравнение имеющихся сил и средств гарнизона пожарной части с расчетными значениями представлено в таблице 1.

В результате проведенных расчетов, наличие региональных сил и средств пожарной охраны обеспечат ликвидацию условного пожара на РВС(П)-20000, а также наличие необходимого запаса огнетушащих средств на рассматриваемом объекте.

**Список литературы:**

1. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. Москва, — 2007. — 380 с
2. Верзилин М.М., Повзик Я.С. Пожарная тактика М.: ЗАО "Спецтехника", — 2004. - 416 с.
3. Сечин А.И., Шаталов А.А. К вопросу о пределах распространения пламени по давлению в газо-воздушных системах. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2005. Т. 308. № 1. С. 80-83.

ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

4. Терехнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожара М.: ГОЧС — 2009. — 508с.
5. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. С. - Пб: Изд-во политехнического университета, — 2010. – 113 с.

## ОБОСНОВАНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ

*Д.В. Гусак, студент гр. 1БМ82*

*А.И. Сечин, д.т.н., проф. ОКД ИШНКБ ТПУ*

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

*тел. 8-952-885-5396*

*E-mail: [dv35@tpu.ru](mailto:dv35@tpu.ru)*

В современном производстве часто стоит вопрос об очистке воздуха в помещении во время технологического процесса. Для этого используют различные устройства, рассчитанные на определенный загрязнитель или ряд загрязнителей. Особенно эффективными признаны те, что используют в своей работе электрический разряд. При этом, они требуют подпитки энергией извне.

В вентиляционных системах часто наблюдаются процессы генерирования электростатических зарядов, в данной работе предложено для использования этих потенциалов разработать устройство позволяющее настраивать электростатические нейтрализаторы функционировать в безопасном режиме, без использования сторонних источников энергии.

Основой для такого устройства может быть циклон сухого действия. Известно, что при движении частиц внутри воздушного потока и вдоль стенки циклона, происходит их взаимодействие с образованием статического электричества. Если верно расставить электроды по внутренней трубе циклона, можно обеспечить стекание этого заряда на электрод с образованием разряда [1]. При достаточном количестве энергии, произойдет образование озона, который дополняет процесс окисления вредных веществ в воздушном потоке [2]. Такая модификация циклона расширит область его применения.

Для того, чтобы верно настроить такое устройство, необходимо знать параметры разряда. К тому же, важно убедиться, что среда внутри аппарата не взрывоопасна. С такой задачей легче справиться, когда имеется искра, которую можно воспроизвести с заданными параметрами, либо сгенерировать для проверки этих самых параметров.

При пробое различных сред разрядом необходимо знать межэлектродное расстояние. Воспользовались формулой практического расчета пробивного напряжения [3]:

$$U_{np} = a\delta L + b\sqrt{\delta L} \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные, зависящие от рода газа (для воздуха  $a=24,5$  кВ/см;  $b=6,4$  (кВ/см)<sup>1/2</sup>);

$\delta$  – относительная плотность воздуха;

$L$  – расстояние между электродами, см;

$$\delta = \frac{pT_0}{p_0T} \quad (2)$$

где  $p_0$  и  $T_0$  соответствуют нормальным атмосферным условиям ( $p_0=1.013 \cdot 10^5$ ,  $T_0=20^\circ\text{C}$ )

Относительную плотность воздуха  $\delta$  для начала можно взять равной единице – циклон работает в нормальных условиях. Сразу же сделаем замену переменной  $\sqrt{L} = x$  и получаем уравнение вида:

$$24.5x^2 + 6.4x - U_{np} = 0 \quad (3)$$

Теперь можно просчитать значения  $L$  для различных  $U_{np}$  и построить график зависимости  $U_{np}(L)$ . В случае иных параметров среды, за  $x$  можно принять  $\sqrt{\delta L}$ , тогда

при получении значения  $x$ , следует учитывать величину  $\delta$ . Приведем график результатов расчетов расстояния  $L$  для обоих полученных корней:

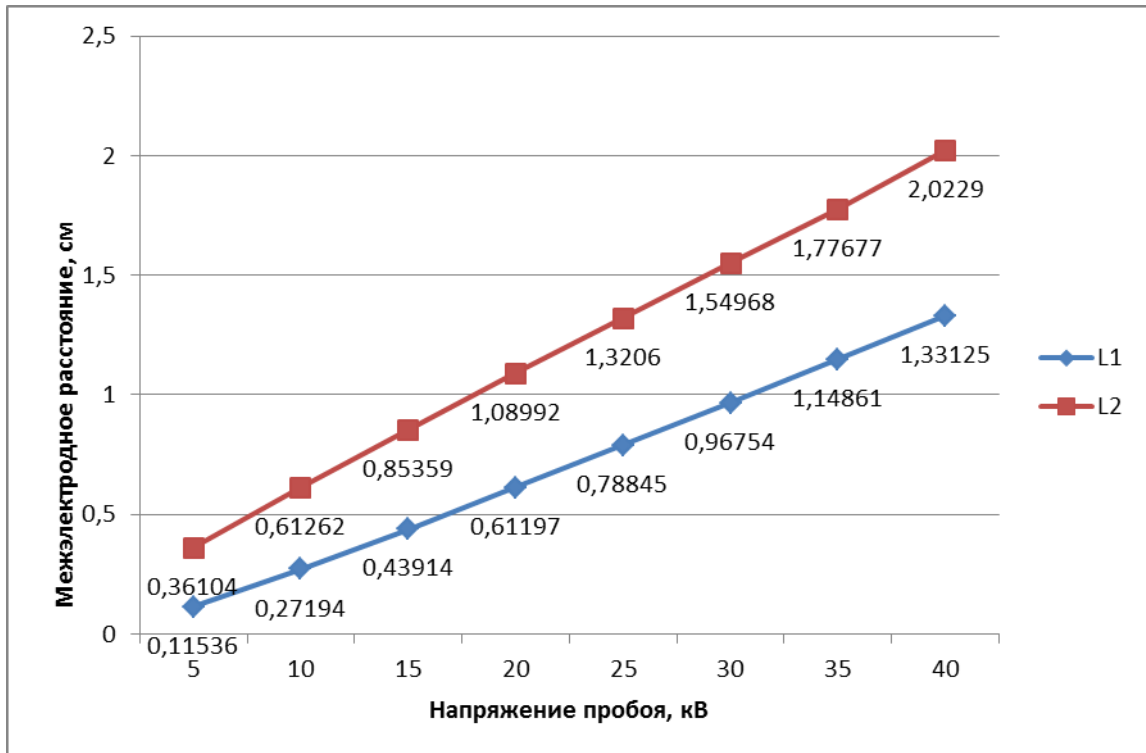


Рисунок 1 – Зависимость межэлектродного расстояния от напряжения пробоя

Анализируя полученный график на рисунке 1, можно предположить, что образование разряда следует рассматривать как организацию емкостного разряда в виде искры со всеми ее параметрами. Разряд же статического электричества образуется из пылевоздушного объема нередко с различной плотностью заряда и затратой времени на стекание заряда к месту образовавшегося канала разряда. Наличие временной задержки формирует канал разряда по другим критериям, видоизменяя его, т.к. данный канал формируется не приходом импульса с некоторой емкости, а с учетом имеющихся неравномерностей в объеме его расположения. Значит, это непосредственно связано с газодинамической величиной  $Re$ . Чем оно меньше, тем очевиднее разряд в виде искры, со всеми описывающими ее факторами. В силу того, что разряд будет «стекать» из газопылевого объема, увеличится время его стекания, а, следовательно, изменятся и другие его параметры: такие как плотность тока и энергия.

#### Список литературы:

1. Сечин А.И., Кырмакова О.С. Разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов // Ж. Ползуновский вестник. 2014. № 4-2. С. 24-27.
2. Sechin A.I., Kyrmakova O.S., Ivanova T.A. Carrying out thermodynamic calculations and definition of the main reactions of decomposition of vapours of ethyl alcohol // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Ser. "International Scientific Conference on "Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials", RTER 2014" 2015. С. 012109.
3. Красько А.С. Техника высоких напряжений (изоляция и перенапряжение): курс лекций: в 2 ч. / А.С. Красько, Е.Г. Пономаренко. – Минск: БНТУ, 2011 – Ч. 1:

Электрические разряды в газах. Внешняя изоляция воздушных линий и распределительных устройств. Внутренняя изоляция. – 119 с.

## **АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА**

<sup>1</sup>*А.А. Селина, студентка гр. 1Е51*

<sup>1</sup>*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

<sup>1</sup>*И.И. Романцов, к.т.н., доц.*

<sup>1</sup>*А.А. Сечин, к.т.н., доц.*

<sup>2</sup>*Г.А. Лопатин слушатель уч. группы 4117 ТмЗ*

<sup>1</sup>*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел.8-952-885-5396*

E-mail: auct-68@yandex.ru

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы  
Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных  
бедствий», г. Москва*

Экологические вопросы при тушении пожаров в нашей стране всегда рассматриваются достаточно поверхностно, так как основной задачей при возникновении пожаров является локализация и ликвидация горения. Разумеется, что при развитии чрезвычайной ситуации (ЧС), как правило, экологическое состояние окружающей среды рассматривается во вторую очередь. Экологический ущерб от последствий ликвидации пожаров остается без внимания.

Многие огнетушащие вещества, такие как пены, порошки, содержат в себе вещества, достаточно опасные как для человека и животных, так и для растений, и способны загрязнять окружающую среду. К примеру, поверхностно-активные вещества, которые применяются в качестве пенообразователей и смачивателей, попадая в водоемы, препятствуют поступлению кислорода, что приводит к гибели фитопланктона, рыб, угнетается рост микроорганизмов. Кроме того, поверхностно-активные вещества оказывают токсическое воздействие на водные и наземные экосистемы. Некоторые порошки, попадая в пламя, разлагаются с образованием токсичных соединений – аммиака, диоксида углерода, оксида фосфора, азота [5].

Поэтому возникает потребность в поиске альтернативного огнетушащего вещества, сочетающего в себе такие показатели, как эффективность, экономическая выгодность и экологическая безопасность. Наиболее подходящим в этом плане следует считать самое распространенное огнетушащее вещество – воду, однако тушение легковоспламеняющихся жидкостей водой неэффективно, ввиду того, что вода имеет большую, чем данные жидкости, плотность.

При тушении водой легковоспламеняющаяся жидкость поднимается на поверхность и продолжает гореть, начиная при этом растекаться вместе с водой по поверхности, от чего увеличивается площадь пожара. Для воды применяются различные добавки, способствующие улучшению ее огнетушащих свойств (приводящие к снижению температуры замерзания, снижению коэффициента поверхностного натяжения, повышению смачивающей способности, повышению вязкости).

К одним из таких веществ относятся водные растворы жидкого стекла.

Целью исследования является анализ применения огнетушащих составов на основе жидкого стекла как экологических загрязнителей окружающей среды.



Оценка проводилась на основе выявления свойств данного вещества при тушении огня оказывать негативное влияние на различные компоненты окружающей среды.

Жидкое стекло, или силикатный клей, представляет собой водно-щелочной раствор натрия, калия, лития или четвертичного аммония, имеющего химическую формулу:



где  $R_2O$  – оксид щелочного металла, либо четвертичный аммоний;  $m$  – модуль жидкого стекла.

Модуль жидкого стекла показывает отношение оксида кремния к оксиду щелочного металла и в основном характеризует его способность к растворимости [3]. Для целей пожаротушения модуль стекла играет немаловажную роль. В зависимости от данного показателя будет зависеть образование слоя пены на поверхности горючего вещества, препятствующего проникновению кислорода к горючему веществу, тем самым предотвращая горение. При этом наиболее эффективным считается применение стекла с модулем 2.5-3.2 и в следующих соотношениях с водой: вода – 50-95%, жидкое стекло 5-50 % (масс.) [4].

Жидкое стекло растворимо в воде, вследствие гидролиза этот раствор имеет щелочную реакцию. В зависимости от концентрации водных растворов жидкого стекла с модулем в пределах  $m=2.6-4.0$  значение рН варьируется в пределах 10-13. Разбавление водой в соотношении от 1:10 до 1:100 изменяют рН-значение раствора жидкого стекла лишь незначительно: 1%-й раствор имеет рН-значение между 10 и 12 [1]. Однако щелочной характер жидкое стекло имеет только в гидролизованном состоянии, т.е. при его высыхании и превращении в твердообразное состояние, щелочность его уменьшается и достигает состояния нейтральности. Из последнего следует, что использование жидкого стекла будет оказывать негативное экологическое воздействие на растения в меньшей степени.

В процессе ликвидации горения растворами силикатного клея в первую очередь испаряется вода, с помощью которой разбавили клей, а затем удаляется вода из самого силикатного клея. Жидкое стекло преобразуется в твердообразное состояние – ксерогель. При его последующем использовании формируется пленка, способная увеличиваться при нагревании примерно в 30 раз – образуется слой неорганической негорючей пены значительной толщины. Сформировавшийся на поверхности горения слой пены обладает плотностью 30-50 кг/м<sup>3</sup> и является надежной преградой кислороду воздуха к поверхности горения. Кроме того, он предотвращает выделение токсичных дымов с горящей поверхности. Данный слой пены не подвергается горению и не образует токсичных продуктов горения, ввиду того что этот слой является безводным силикатом щелочного металла, то есть неорганическим веществом. Образовавшийся слой твердой неорганической пены обладает низким коэффициентом теплопроводности и защищает потушенную поверхность от последующего прогрева до температуры возгорания вследствие резкого снижения интенсивности воздействия теплового потока, образующегося при излучении пламени и конвективного тепла дымовых газов. Пена сохраняет свою структуру и свойства при нагреве до температуры 550°C, выше которой начинается уплотнение и частичное подплавление поверхностного слоя пены [4].

При тушении высокотемпературных пожаров обычной водой струя может не достигать поверхности горения, испаряясь на подлете к зоне горения. Поэтому при тушении таких пожаров необходимо большое количество водных ресурсов. Для достижения поверхности горения струя огнетушащего средства должна обладать большей кинетической энергией по сравнению со струей воды. Этого можно достичь путем увеличения плотности жидкости за счет введения в её состав веществ, повышающих не только плотность воды, но и её вязкость. При добавлении в воду жидкого стекла увеличивается плотность раствора, что способствует увеличению дальности полета струи за счет повышения ее кинетической энергии. При полете струи

раствора жидкого стекла к границе очага возгорания, при помощи высокой температуры совершается нагревание раствора и снижается его вязкость, это способствует надежному закреплению раствора на границе очага горения.

Помимо вышеуказанного, водные растворы жидкого стекла позволяют существенно сократить расходы воды. При попадании на пламя  $1 \text{ м}^3$  10%-го раствора силикатного клея, формируется до  $1,5 \text{ м}^3$  неорганической пены. При использовании 50%-го раствора клея объем образующейся пены из  $1 \text{ м}^3$  раствора составит порядка 5-10  $\text{м}^3$  при плотности пены 30-50  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Данные расчеты дают основание полагать, что использование водных растворов жидкого стекла как средства пожаротушения позволяет уменьшить расход данного средства примерно в 5-10 раз по сравнению с расходом воды. Это позволяет сэкономить такой ценный ресурс, как вода.

По санитарно-токсикологическому признаку вредности жидкое стекло относится к 3 классу опасности, то есть к умеренно опасным веществам. При попадании на кожу и слизистые раствор способен вызывать раздражение [2]. Однако ввиду того, что в процессе горения из раствора испаряется вода, огнетушащее вещество перестает представлять опасность, так как образующаяся пена теряет свойство щелочности. Кроме того, вещество обладает слабой кумулятивной способностью, а это значит, что оно не способно вызывать отравлений у живых организмов на протяжении длительного времени.

Таким образом, в ходе исследования была проведена экологическая оценка применения огнетушащего состава на основе жидкого стекла. Была выявлена его нетоксичность и химическая нейтральность, а вследствие этого и определена его безвредность для различных компонентов окружающей среды. Огнетушащее вещество позволяет значительно сократить расход воды на ликвидацию пожаров. Данный раствор можно рекомендовать к тушению пожаров, так как он не несет необратимых негативных последствий на окружающую среду.

#### **Список литературы:**

1. Буймов Я.Е., Мартынова А.В. Прозрачный терморазбухающий гель для противопожарного остекления // Молодежь наука технологии: идеи и перспективы (МНТ-2014): Материалы I Международной научной конференции студентов и молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 243 – 244.
2. ГОСТ 13078-81 Стекло натриево-жидкое. Технические условия.
3. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. – С: Стройиздат. - 1996. – 216 с.
4. Пат. 2275951 Россия МПК А62D 1/00 (2006.01). Водный раствор для тушения пожаров / Лотов В. А., Смирнов А. П., Лотова Л. Г. Заявлено. 09.11.2004; Опубл. 10.05.2006, Бюл.№13. – 8 с.
5. Янц А.И., Павлов М.М. Жидкофазные огнетушащие составы на основе жидкого стекла // Инновационная наука. – г. Уфа, 2017. – №8. – с. 28 – 29.

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*А.И. Сечин, д.т.н., проф.,*

*А.А. Сечин, к.т.н., доц.*

*И.И. Романцов, к.т.н., доц.*

*Мезенцева И.Л., асс.*

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

*тел.8-952-885-5396*

*E-mail: auct-68@yandex.ru*

При ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, безопасность всех участников инцидента и успех мероприятия нередко зависят от эффективности использования аварийно-спасательного оборудования, привлекаемого для проведения аварийно-спасательных работ. Нередко эта эффективность зависит от условий применения спасательного оборудования, в частности, оснащенных двигателями внутреннего сгорания; от скорости приведения в готовность к работе пневматического спасательного оборудования и совершенства инструмента для вскрытия металлических дверей [1]. Поэтому задача исследования условий и разработка методов управления риском для обеспечения эффективности применения спасательного оборудования, создание надежных расчетных методов в данной отрасли весьма актуальна. Одним из элементов комплексного решения проблемы является создание расчетно-аналитического метода управления риском, обеспечивающего безопасность и эффективность аварийно-спасательных работ.

Большая часть проведения работ связанных с тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ пожарных подразделений, проходит в непригодной для дыхания среде. Задымленность помещений ограничивает возможность использования оборудования, оснащенного двигателями внутреннего сгорания из-за недостатка кислорода и высокого содержания продуктов горения в дыму [2, 3] (содержание кислорода и вредных примесей в дыму), а значит, выполнение определенных задач, связанных с тушением пожара и спасение людей может зависеть от степени задымления.

Цель работы. Повышение эффективности использования аварийно-спасательного оборудования, оснащенного двигателями внутреннего сгорания в условиях задымления.

Анализ литературных данных показал, что останов двигателя и снижение мощности на валу происходит по следующим причинам:

- Останов двигателя по причине малого развития давления в цилиндре, потеря мощности вследствие обеднённости горючей смеси (горение в камере происходит).
- Останов двигателя по причине отсутствия горения в камере (нехватка кислорода).
- Установление количественно и качественно компонентов смеси – как критических параметров горючей системы.

Для решения данной задачи было решено составить модель с целью определения закономерности нарастания нагара на стенках камеры сгорания по причине попадания в нее загрязненного и обедненного кислородом воздуха (неполнота сжигания, как основного фактора останова двигателя).

Если известна скорость поступления смеси в камеру сгорания, то можно определить тот промежуток времени, в течение которого на стенках камеры сгорания нарастает нагар, который при достижении опасных пределов остановит работу двигателя.

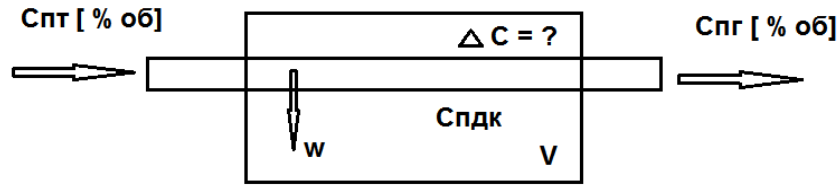


Рис. 1. К выводу модели закономерности нарастания нагара на стенках камеры сгорания по причине попадания в нее загрязненного и обедненного воздуха (неполнота сжигания)

$C_{пт}$  – объем поступающего топлива на сгорание, г/м<sup>3</sup>, % об;  $C_{пр}$  – объем образовавшихся продуктов сгорания, г/м<sup>3</sup>, % об;  $\Delta C$  – объем образовавшегося нагара, г/м<sup>3</sup>, % об;  $V$  – объем камеры сгорания, м<sup>3</sup>;

В общем виде длительность нарастания опасной концентрации нагара  $\Delta C$  будет зависеть, кроме  $C_{пдк}$ , от объема камеры  $V$ , объем поступающего топлива на сгорание, объем образовавшихся продуктов сгорания.

$$\Delta C = F(C_{интв}, V, C_{пт}, C_{пр}) \quad (1)$$

В этом случае количество опасного вещества, выходящего наружу из оборудования за промежутки времени  $d\tau$ , должно быть равно приращению количества горючего вещества в камере сгорания за тот же промежуток времени  $d\tau$ , что и выражается:

$$qd\tau = VdC, \quad (2)$$

где  $q$  – количество вещества, выходящего наружу в единицу времени;  $V$  – объем камеры сгорания;  $dC$  – приращение концентрации опасного вещества за время  $d\tau$ .

Проинтегрировав это уравнение (14), получим:

$$q \int_0^{\tau(C_{интв})} \Delta\tau(\Delta C) = V \int_{C_{нз}}^{C_{пт}} d\Delta C \quad (3)$$

$$q\tau(C_{интв}) = V(C_{пт} - C_{нз}) \quad (4)$$

Выражаем время, тогда окончательно будем иметь

$$\tau(C_{интв}) = \frac{V(C_{пт} - C_{нз})}{q}, \quad (5)$$

Где  $C_{пт}$  – объем поступающего топлива на сгорание, г/м<sup>3</sup>, % об.;  $C_{пр}$  – объем образовавшихся продуктов сгорания, г/м<sup>3</sup>, % об., имеется ввиду количество вещества не прореагировавшего в процессе горения;  $\Delta C$  – объем образовавшегося нагара, г/м<sup>3</sup>, % об.;  $V$  – объем камеры сгорания, м<sup>3</sup>;  $q$  – количество вещества, выходящего наружу в единицу времени, после сгорания топлива в камере, имеется ввиду суммарный объем.

Экспериментальные исследования критических условий распространения пламени в многокомпонентных парогазовых системах проводились на соответствующей установке [4, 5]. Экспериментально было установлено, что область горения топливных систем составляет 15-20 % об.

Из модели закономерности нарастания нагара на стенках камеры сгорания по причине попадания в нее загрязненного и обедненного воздуха (неполнота сжигания) следует, что при изменении величины  $\Delta C$  состав топливной смеси может влиять на процесс горения и тем самым на устойчивость работы ДВС.

Таким образом, из проведенного исследования следует, что общее падение содержания  $O_2$  в окружающей атмосфере, может составлять до 15 % об.; расчетами установлено, что время устойчивой работы ДВС может составлять от 4 до 15 минут при критической задымленности.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована необходимость и возможность применения двигателей внутреннего сгорания в задымленных помещениях (с помощью баллонов со сжатым воздухом).
2. Разработана математическую модель горения топливных систем в условиях пожара.
3. Экспериментально установлено, что область горения топливных систем составляет 15-20 % об.
4. Определена область устойчивой работы двигателей внутреннего сгорания в задымленных помещениях, она составила до 15 % наличия кислорода воздуха в помещениях.

#### **Список литературы:**

1. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство. - М.: Московский НИИ охраны труда. 1992. - 256 с.
2. ССБТ. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Издательство стандартов, 1990, 144 с.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник. В 2 кн. Под ред. А.Н.Баратова. А.Я.Корольченко. – М.: Химия, 1990. –384 с.
4. Сечин А.И., Шаталов А.А. К вопросу о пределах распространения пламени по давлению в газо-воздушных системах // Ж. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2005. Т. 308. № 1. С. 80-83.
5. Sechin A.I., Shatalov A.A., Iashin V.I. On the development of engineering calculation technique for critical conditions of fire spreading inside heterogeneous systems / В сборнике: 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology Proceedings: KORUS 2004. sponsors: Tomsk Polytechnic University, University of Ulsan, Novosibirsk State Technical University. 2004. С. 362-364.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Е.И.Чалдаева, аспирант гр. А7-54*

*А.И.Сечин, д.т.н., проф.,*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555*

E-mail: [katerino4ka\\_94@mail.ru](mailto:katerino4ka_94@mail.ru)

Одной из современных проблем человечества является разработка эффективных способов борьбы с лесными пожарами. [1, 2] При этом самовозгорание в условиях природных ландшафтов является одной из наиболее распространенных причин возникновения пожаров, наносящим значительный материальный ущерб. Объектами первичного горения являются растительный покров и лесная подстилка. Благоприятные события для самовозгорания связаны с условиями окружающей среды, температурой, продолжительностью дня и с фактором солнечной инсоляции.[3, 4] Разработка критериев оценки пожарного риска вероятных очагов возгорания является актуальной и востребованной темой в условиях природных ландшафтов.

Авторы [1, 2, 3] рассматривают перечень факторов лесообразования, определяющие внешний облик леса и происходящие в нем процессы, в том числе и процессы самовозгорания: свойства древесных пород, климат, рельеф, почва, социальные явления в лесу, животный мир, антропогенный фактор, историко-геологические причины.

В Томской области произрастают лиственные и хвойные леса, среди которых преобладают березовые, сосновые, кедровые и пихтовые [3, 4]. Объектами первичного горения при лесных пожарах являются растительный покров и лесная подстилка – опад пород. Согласно классификации лесных горючих материалов (ЛГМ) и видов происходящих пожаров для экспериментов были выбраны следующие образцы лесной подстилки, характерной для природного ландшафта Томской области: измельченная в пыль березовая кора и утрамбованная листвы березы и хвои сосны.

Литературный обзор показал, что благоприятные события для самовозгорания связаны с температурой окружающей среды, продолжительностью дня и с отсутствием факторов, влияющих на величину солнечной инсоляции: облачность, количество осадков, наличие тени.

Авторы [5, 6] установили, что горение древесины в естественных условиях леса начинается с её разогрева. При прогреве участка древесины до температуры 120–150°С начинается медленное и постепенное обугливание с образованием самовоспламеняющегося на воздухе угля. При дальнейшем нагреве разложение древесины на газообразные составляющие будет усиливаться, и произойдет вспышка последних при температуре от 250°С до 300°С. Воспламеняемость древесины связана с ее объемным весом, влажностью, мощностью внешнего источника нагрева, формой сечения деревянного элемента, скоростью воздушного потока, положением элемента в тепловом потоке (горизонтальное, вертикальное).

Целью исследования являлась разработка критериев оценки пожарного риска возникновения очагов возгорания в природных ландшафтах Томской области.

В ходе экспериментального исследования рассматривались такие факторы как лесообразование, определяющие внешний облик леса и происходящие в нем процессы, в том числе и факторы, влияющие на процессы самовозгорания: свойства древесных пород, климат, рельеф, почва, социальные явления в лесу, животный мир, антропогенный фактор, историко-геологические причины. [1, 4] Для эксперимента

готовилось несколько образцов исследуемого материала, характерного для природного ландшафта Томской области.

В основу экспериментального метода определения температуры самовозгорания образца выбранного природного ландшафта был положен ГОСТ 12.1.044–89. «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов». [5, 6] Исследования проводились в диапазоне температур от 40°C до 400°C. Установка представляла собой тепловую камеру с нагревательным элементом. Напряжение на нагревательном элементе задается с помощью автотрансформатора. Образец исследуемого вещества размещается в контейнере, изготовленном из медного листа толщиной 0,5 мм и помещается в тепловую камеру.

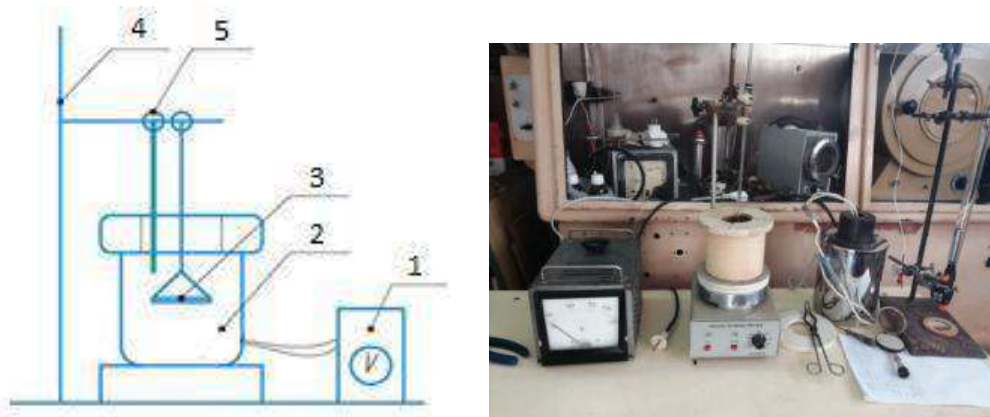


Рис. 1. Схема установки для проведения экспериментов с образцами лесных горючих материалов  
1 – автотрансформатор; 2 – муфельная печь; 3 – контейнер с образцом;  
4 – измеритель температуры; 5 – штатив.

Методика проведения исследования. При проведении исследования нагревают рабочую камеру (2) до необходимой температуры, определяемой по показаниям термоэлектрического преобразователя (4). Извлекают из камеры прогретый контейнер (3), заполняют его образцом за время не более 20 секунд, и ставят внутрь тепловой камеры. Если материал самовозгорается в течение 20 минут, то следующее испытание проводят при меньшей температуре. В протоколе помечают самовозгорание. Если самовозгорание не наблюдается – фиксируется отказ. С шагом 10°C определяют минимальную температуру, при которой образец самовозгорается. Температурой самовоспламенения исследуемого вещества будет являться минимальная температура, при которой наблюдается самовозгорание трех исследуемых образцов.



а б  
Рис.2. Образец пыли березовой коры



В ходе исследования березовой коры было установлено, что кора разлагается до углеродной составляющей – самовозгорание невозможно. Изучен режим, при котором через равные промежутки времени с интервалом в 10 минут температура в печи увеличивалась до 200°C. Образец постепенно нагревается, при температуре 120°C отмечается запах выделяемых летучих соединений. При достижении температуры 200°C поверхность насыпного слоя темнеет, тление при этом не наблюдается. Выполнив необходимое количество опытов, было установлено, что в образце проходят окислительные процессы, но их интенсивность невелика – самовозгорание не наблюдается (рис. 2а). По изменившимся физическим характеристикам образца наблюдается его разложение до углеродной составляющей – пиролиз. В последующих опытах пыль березовой коры помещали в предварительно разогретую до 200°C печь и продолжили повышать температуру. При температуре 254°C произошло увеличение выделения летучих компонентов, при 260°C – воспламенение образца (рис. 2б). Перед горением наблюдалась фаза спекания.

При исследовании утрамбованной листвы березы и хвои сосны – возникает самовозгорание. Образец помещался в предварительно разогретую печь до температур 200°C, 230°C, 270°C, 300°C. В ходе исследования второго образца был изучен режим, при котором с интервалом времени в 3 минуты температура в печи повышалась. При температуре в печи 206 °C, происходит испарение влаги из образца и выделение дыма. В результате эксперимента наблюдалось самовозгорание образцов (рис. 3).



Рис.3. Образец утрамбованной березы и хвои сосны

По результатам проведенных исследований построен график зависимости времени индукции начала тления от температуры (рис. 4). Показано, что самовозгорание смешанного леса можно наблюдать при искусственном уменьшении времени индукции начала тления. Установлен определяющий фактор этого процесса – антропогенное загрязнение.

Эксперименты с концентраторами солнечной инсоляции показали возможность самовозгорания смешанного леса даже при неблагоприятных метеорологических факторах. Полученная степенная функция (1) положена в основу разработки критериев оценки пожарного риска возникновения очага возгорания, и свидетельствует об опасности фактора антропогенного загрязнения среды:

$$y=8E+18 \cdot x^{-7.01} \quad (1)$$

Согласно полученного выражения при максимальной температуре воздуха в Томской области – 36°C летом, время самовозгорания составит 3.04 года. По полученному уравнению (1) были проведены расчеты необходимого времени индукции для самовозгорания образца при различных температурах.

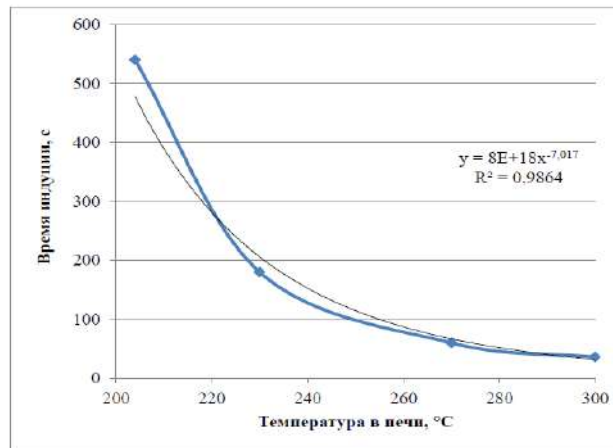


Рис.4. Зависимость времени индукции начала тления утрамбованной листвы березы и хвои сосны от температуры

Исходя из полученного результата расчета, можно сделать вывод, что самовозгорание может произойти при искусственном уменьшении времени индукции начала тления. Главный фактор при этом – антропогенное загрязнение. В качестве антропогенного загрязнителя в лесных ландшафтах могут выступать различные объекты: изделия из стекла, полиэтиленовая посуда, целлофановые пакеты, забытые очки и любой предмет, способный концентрировать световой поток.

Антропогенный фактор при возникновении пожаров в лесу требует детальной проработки основных предупредительных мероприятий по снижению их количества и вероятности возникновения. Одним из проявлений антропогенного фактора загрязнения леса является попадание мусора, как с близлежащих свалок, так и неорганизованное его поступление.

#### Список литературы:

1. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. – Новосибирск: Наука СО РАН, 2008. – 404 с.
2. Долгосрочный прогноз ЧС на 2013. Томская область / Приложение 2.13\_2013. Среднепогодные показатели по лесным пожарам.
3. V.A. Perminov, T.S. Rein, S.N. Karabtcev, NEM and MFEM Simulation of Interaction between Time-dependent Waves and Obstacles // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 81 (2015) 012099 doi:10.1088/1757-899X/81/1/012099.
4. Фуряев В.В. Комплексы напочвенных горючих материалов и возможность их регулирования в профилактике лесных пожаров /В.В. Фуряев, Л.П. Злобина, В.И. Заболотский [и др.] // Лесн. хоз-во. – 2007. – No 1. – С. 43–44.
5. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 107с.
6. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – Введ. 01.09.2001. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 40 с.

## **СЕКЦИЯ 7. ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ AUTOCAD**

*С.В. Романова, ст. преп.*

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

*тел.(3822)-606060-5265*

*E-mail: [romanova@tpu.ru](mailto:romanova@tpu.ru)*

В любое время работа над любым изделием начинается с проекта, который рождается с идеи. Современное производство требует обновления продукции, выпуска новых модификаций уже разработанных изделий с тем, чтобы удовлетворить запросы максимального числа потребителей.

Создание нового изделия в машиностроении происходит в такой последовательности: на основе анализа выпускаемой продукции проектируется новое, обладающее более высокими эстетическими, эксплуатационными или другими свойствами изделие, затем производятся инженерные расчеты и моделирование, технологическая подготовка производства, изготовление и сбыт изделия. [3]

Вначале любого проекта разрабатывается концепция, которая представляется в виде эскизов, спецификаций и условий, которые определяют требования к проекту. В современном мире проходит не так много времени от мысли к просмотру визуализированной модели, благодаря, большому количеству программного обеспечения для 3D-проектирования в машиностроении. Эти программы помогают воплотить идеи проекта и передать проектный замысел еще до создания физического опытного образца, визуализировать их, а также в современных системах автоматизированного проектирования (САПР) можно выполнить расчеты, например, выдержать заданное напряжение или рассчитать деформацию при минимизации веса конечного продукта.

С помощью 2D и 3D САПР можно выполнять различные задачи: создавать 3D модель проекта, применять материалы и эффекты освещения, а также создавать проектную документацию с указанием размеров и других аннотаций.

Машиностроительные системы включают в себя ряд функций, которые объединены в следующие группы: CAD, CAM и CAE систем.

CAD-системы это двумерное или трехмерное проектирование. Двумерное проектирование – это создание чертежей и рабочей документации. Трехмерное проектирование – это создание 3D-моделей и выполнение метрических расчетов. В некоторых системах также существует возможность просмотра модели изделия в месте монтажа.

Выделяют легкие, средние и тяжелые CAD-системы. Легкие системы в основном ориентированы на 2D-графику. Тяжелые системы более дорогие, но и более универсальны, они ориентированы на твердотельное и поверхностное 3D-моделирование. Разработка чертежной документации в таких системах осуществляется только после создания трехмерной модели. Системы среднего уровня занимают промежуточное звено между легкими и тяжелыми системами.

CAM-системы отвечают за создание управляющих программ для станков с ЧПУ, они моделируют процесс обработки и движение инструмента и заготовки в процессе обработки, а также возможен расчет времени для смоделированного процесса на конкретных станках.

CAE-системы отвечают за анализ полученной модели, они могут рассчитать слабые и сильные места полученной модели, проводят расчет прочности, или напряжения на поверхность изделия и т.п..

В данной статье рассмотрена работа в системе автоматизированного проектирования - AutoCAD. В данной САПР была построена трехмерная модель сборочной единицы - зажима гидравлического, который представлен на чертеже (рис. 1). Также рассмотрены те сложности, которые возникают при моделировании в данной программе. Выполнен чертеж одной из созданных деталей. Поднят вопрос об актуальности 3D-моделирования в данной системе.

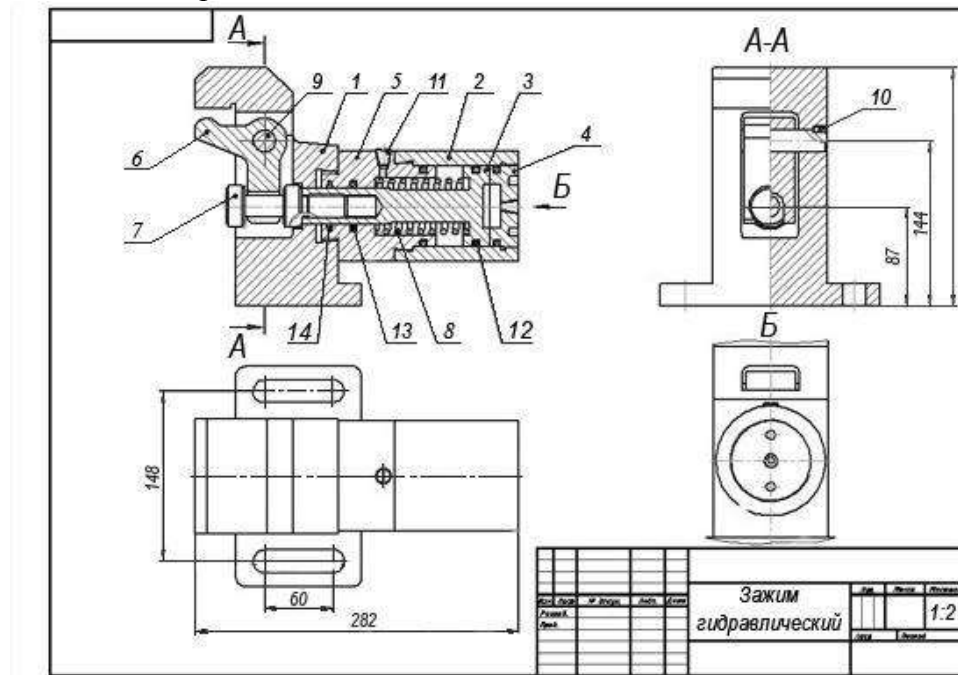


Рис. 1 Чертеж общего вида. «Зажим гидравлический»

AutoCAD — это базовая САПР, разрабатываемая и поставляемая компанией Autodesk. В основе этой системы лежит CAD-система. AutoCAD самая распространенная из данных систем программа, она позволяет разрабатывать документацию в двумерной среде и оформлять чертежи. Также в системе AutoCAD возможно создание 3D-моделей и выполнение чертежей на базе этих моделей. Эта система наиболее гибкая и способна эффективно работать в самых различных областях технического проектирования. AutoCAD не является привязанным к определенной области деятельности человека, и в нем возможно выполнять любые чертежи, связанные как с машиностроением, так и с построением электрических схем, геодезией и пр.

Работа в системе AutoCAD очень различна. При двумерном проектировании AutoCAD предоставляет огромные возможности такие как: работа со слоями; использование механизма внешних ссылок, которые позволяют разбивать чертеж на составные файлы, а также использование динамических блоков, расширяющих возможности автоматизации 2D-проектирования обычным пользователем; поддержка двумерного параметрического черчения; и многое другое. [4]

При трехмерном моделировании используется библиотека твердых тел, с помощью которой возможно создавать трехмерные примитивы и в дальнейшем изменять их форму, используя простейшие булевы операции и также команды выдавливания и вращения. В AutoCAD нет команд, которые отвечали бы за сборку изделия. Каждый

объект создается в отдельном файле, а затем переносится в общий файл. Непосредственно сама сборка осуществляется с помощью перемещений пользовательской системы координат, используя при этом систему привязок.

При работе с чертежом общего вида необходимы знания чтения чертежей. Прежде чем приступить к моделированию в самой системе AutoCAD, необходимо проанализировать представленный чертеж, иметь представление о форме самих деталей и представление о их соединении между собой, также необходимо решить в какой последовательности удобнее выполнять работу и с какой детали стоит начать моделирование.

Работа над любой деталью начинается с того, что деталь разбивают на отдельные простейшие геометрические формы. Используя одну из следующих команд «Ящик» «Цилиндр», «Тор», «Конус», «Сфера» и команды вычитание и объединение тел можно создать деталь любой сложности. Сложные отверстия в деталях удобнее получать, построив замкнутый контур с помощью команды «Полилиния» и команды вращения.

Если деталь сложная, то стоит начинать с того вида, который проще всего построить в плоскости. Для построения скруглений, фасок выполняются соответственно команды «Сопряжение», «Фаска». Сложность возникает при выполнении данных команд на сопряженных гранях, в этом случае можно воспользоваться средой Inventor Fusion, которая поставляется вместе с AutoCAD. [2]

Также сложность возникает при визуализации резьбы. В системе AutoCAD нет отдельной команды, которая отвечала бы за резьбу, поэтому чтобы показать резьбу на детали необходимо воспользоваться несколькими командами: «Полилиния», «Спираль», «Сдвиг», «Вычитание» и команды связанные с перемещением системы координат. А если сборочная единица имеет ни одну резьбу, то выполнения этого ряда команд приходится повторять, что занимает достаточно много времени.

Разберем более подробно создание модели детали «Стакан». И выполним чертеж к данной детали. Стакан это не сложная деталь, которая является поверхностью вращения. Она выполняется в несколько команд. Для создания модели «стакан» создаем цилиндр заданного диаметра и высотой. Повернув систему координат, относительно оси ОХ в плоскости ХОУ, выполняем замкнутый контур отверстия с помощью команды «Полилиния». Выбрав команду «Вращения», получаем внутренний контур отверстия. Используя команду «Вычитание» получаем цилиндр с заданным отверстием.

Для создания резьбы в плоскости ХОУ с помощью команды «Полилиния» задаем замкнутый контур - профиль резьбы (предварительно установив нужную систему координат), командой «Спираль» задаем траекторию резьбы. Выбирая команду «Сдвиг», получим профиль резьбы по заданной траектории. Параметры спирали, такие как количество витков или их высота, можно задать при ее создании, либо изменив свойства в уже созданной линии.

Вычитая полученный контур из ранее созданного цилиндра, получим визуализированную резьбу. (Рис.2)



Рис. 2 3D-модель детали «Стакан»

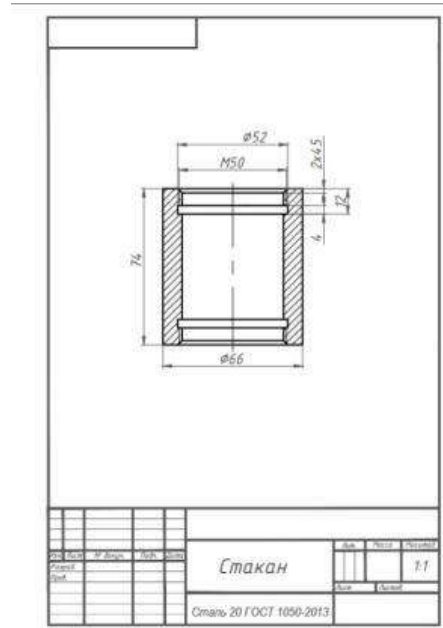


Рис. 3 Чертеж детали «Стакан»

При выполнении чертежа мы воспользовались командой Т-Вид и получили необходимый разрез детали (рис. 3). При выполнении чертежа возникли следующие сложности, визуализированная резьба отражалась не согласно ГОСТу, что привело к необходимости редактированию данного участка чертежа.

В процессе создания такой несложной детали возникли сложности при визуализации резьбы. И постоянно существует необходимость в изменении начала координат и изменении расположения осей, т.к. например выдавливание осуществляется только вдоль оси OZ, замкнутый контур отверстия необходимо нарисовать в плоскости XOY. При выполнении чертежа использование слоев облегчает работу.

После того, как все детали построены можно осуществить сборку зажима гидравлического. При создании сборочной единицы возникает сложность привязать объекты друг к другу и сделать модель уже общим изделием, где каждая деталь связана между собой. Создается общий файл, куда импортируются остальные детали. Формирование сборочной единицы осуществляется с помощью команды «Перемещение», и с помощью особых точек детали (например: центр отверстия, середина ребра и т.п.), перемещая начало координат, используя объектную привязку создаем нужное изделие (рис. 4).

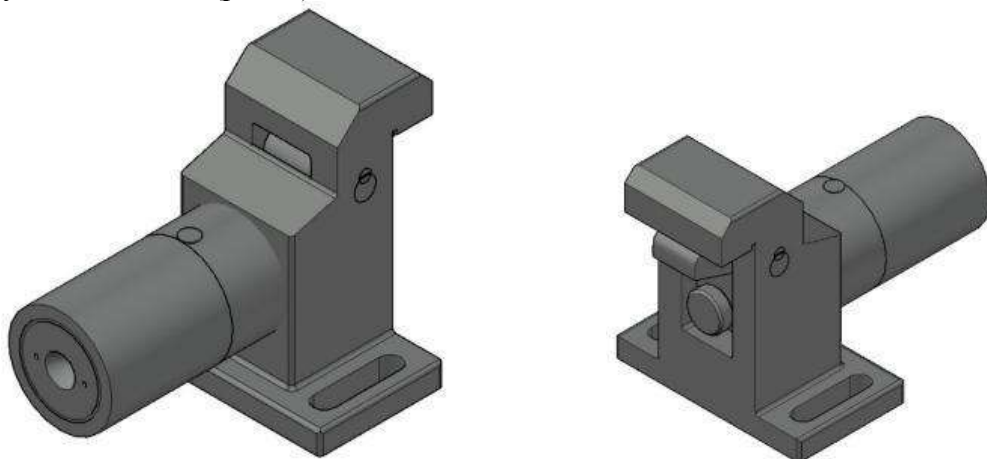


Рис. 4- 3D модель «Зажим гидравлический», выполненный в системе AutoCAD

Данная система проектирования является универсальной, в ней можно начинать работу не только с построения трехмерной модели, но и разрабатывать любой чертеж в 2D-графике. Это облегчает работу, для создания документации к готовой продукции, или в процессе ее улучшения. AutoCAD ориентирован на международные стандарты, поэтому любой документ созданный в этой системе пройден международную сертификацию.

Многие САПР ориентированы на создание 3D-моделей, в системе AutoCAD при создании объемных моделей возникают сложности, и то, что в других системах делается за один клик мышки, здесь существует необходимость применять несколько команд. На мой взгляд саму модель можно выполнять в другой системе проектирования, а в AutoCADе разрабатывать уже всю необходимую документацию. Тем более AutoCAD может поддержать многие импортированные модели.

Еще хотелось отметить, что существует приложения на основе AutoCAD, которые имеют более узкое направление, например, AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, AutoCAD Architecture и др., которые помогают конструкторам во всем мире.

#### **Список литературы:**

1. Золоторевский В. С., Механические свойства металлов: учебник для вузов. – М.: МИСиС, 1998. – 400 с.
2. Гордеева Т. А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. — М. : “Машиностроение”, 1978. — 200 с.
3. Корчмит А. В., Егоров Ю.П. Методика определения скорости охлаждения бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью // Обработка металлов. – 2005. – № 1. – С.23–25.

1. Левицкий В.С. Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей. — М. : «Высшая школа», 1998. — 436 с.
2. Компьютерная графика: учебное пособие по компьютерному моделированию в САПР AutoCAD. / сост. Н.А.Антипина, Ю.Ю. Будницкая, С.П. Буркова, Г.Ф. Винокурова, О.А. Куликова, Б.Л. Степанов. – Томск: Издательство ТПУ, 2007.- 183с.
3. Осит В.А. Задачи систем автоматизации проектирования в производстве землеройно-транспортных машин // 64-я научно-техническая конференция ГОУ «СибАДИ» в рамках юбилейного международного конгресса «Креативные подходы в образовательной, научной и производственной деятельности», посвященного 80-летию академии – 2010. – С.214-216
4. Дудко О.Н., Нелюбина А.Д., Кожевникова Н.Ю., Хасанов А.Р. Обзор систем автоматизированного проектирования // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – С.51-54



## **ДИЗАЙН СВЕТОСЦЕНАРИЕВ КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

*М.О.Васильева, аспирант гр. А-74  
Томский политехнический университет,  
634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555*

*E-mail: [marrian@sibmail.com](mailto:marrian@sibmail.com)*

*Научный руководитель – М.С.Кухта, д.ф.н. профессор ОМ ИШНПТ*

Современное машиностроение сложная развивающаяся отрасль производства, включает более 70 подотраслей с огромной численностью сотрудников. Совершенствование технологий в промышленной сфере приводит к изменениям в основах труда: профессиях, рабочих местах, способах выполнения операций. Организация деятельности машиностроительного комплекса связана с решением задач эргодизайна производственной среды, главной из которых, является обеспечение комфортных условий труда и здоровьясбережения работающего персонала [1].

Основным гигиеническим фактором формирования технологических процессов в промышленных цехах является освещение. Проблема комфортной световой среды на производстве XXI века остаётся актуальной, особенно на участках операций, где необходимы отслеживание, контроль, принужденная зрительная работа, а так же где присутствует ночной и сменный режим трудовой деятельности. В фактических условиях, когда принятого регламентированными нормами освещения становится недостаточно, выявляется потребность в световых сценариях, позволяющих нивелировать возможные неблагоприятные последствия от монотонного воздействия искусственного освещения [1,2].

В статье рассматривается комплексный подход к решению эргономических задач построения комфортного светового пространства промышленных помещений. Рассматривается концепция светосценариев, интегрирующие двойную природу света для выявления и внедрения искусственного освещения для особых видимых условий на рабочих местах. Представлено обоснование дизайнерской оценки к выбору осветительных элементов для моделирования искусственного освещения с точки зрения аспектов физиологии зрения и психоэмоционального восприятия рабочего света. Демонстрируется системный подход в формообразовании светового оборудования и осветительных систем и размещение их в производственном пространстве [3,4].

Технологические процессы машиностроительного производства с участием человека связаны со значительной физической и психологической напряжённостью, вызванной высокой ответственностью проводимых работ, особенно в условиях несоответствия показателей фактических с нормами пространственной и световой среды. Актуальная потребность в профессиональном решении вопросов формирования полноценной производственной среды в дневное и ночное время связано с пятью объективными обстоятельствами: зрительное восприятие; теории «световой функции»; социально-экономической рентабельностью; эстетикой; информативностью.[5,6].

Свет, явление природное, детерминировано, то есть предсказуемое и описано математически. Проектирование освещения для внутренних пространств имеет специфику объективного и субъективного восприятия света для различных условий деятельности [7]. Объективные критерии определяются с помощью приборов и включают физические, действенные, фотометрические шкалы величин света. Субъективные, устанавливают в процессе психофизиологических исследований

статистическими методами и шкалируются пороговыми значениями зрительных ощущений из функции зрения [8].

Освещение на производстве имеет первостепенное значение и является главным утилитарным инструментом в создании рациональных видимых условий для зрительной работы различной степени сложности, для технической и технологической информативности, для ориентации в пространстве, обеспечения безопасности персонала [9].

Главным критерием комфортности освещения может служить природная среда. Дефицит естественного освещения, в его суточной и сезонной нестабильности, могут компенсировать современные лампы и осветительные системы, которые позволят моделировать свет Солнца и неба в интерьерах. Лучшими световыми условиями для рабочих мест считаются те, которые сочетают три вида освещения: комбинированное с естественной инсоляцией; общее искусственное освещение; специальный дополнительный свет [10,11]. Световой дискомфорт на рабочих местах может выражаться как в отсутствии одного типа освещения, так и в неравномерном распределении яркости освещения - зрительной индукции, ослепленности, что является фактором быстрой зрительной утомляемости [11].

Для представленного исследования определены характерные визуально-пространственные и психоэмоциональные условия, которые негативно влияют на человека в производственных цехах:

- закрытые, герметизированные помещения (отсутствие оконных или фонарных проемов);
- большая протяженность промышленного помещения;
- запыленность световых проемов;
- несвоевременная замена перегоревших ламп;
- ощущения, вызываемые недостаточным временем инсоляции в помещении, топография местности;
- однообразное, скучное освещение на рабочих местах для людей со сменным графиком работы;
- климатические факторы (производство в сложных фотопериодических условиях, например, северных регионах и солнечная радиация южных районов) [12,13].

Согласно эргономическим исследованиям установлено, что показателем эффективности трудовой деятельности является присутствие природного освещения в рабочих процессах. Доказано, что при естественном свете производительность труда на 10% выше, чем при использовании только искусственного освещения [11]. Проводился опрос группы респондентов эмпирическим методом с целью определения причин дискомфорта от влияния комбинированного освещения на эмоциональный настрой в рабочем процессе. В 6 случаях из 10, респонденты выражали, что сочетание естественного и искусственного света в помещениях может вызывать зрительное и эмоциональное неудобство. Поэтому для обеспечения световой стабильности предлагается имитировать солнечный свет посредством искусственных источников и использовать его в качестве дополнительного, фоновое динамичного освещения [12,13].

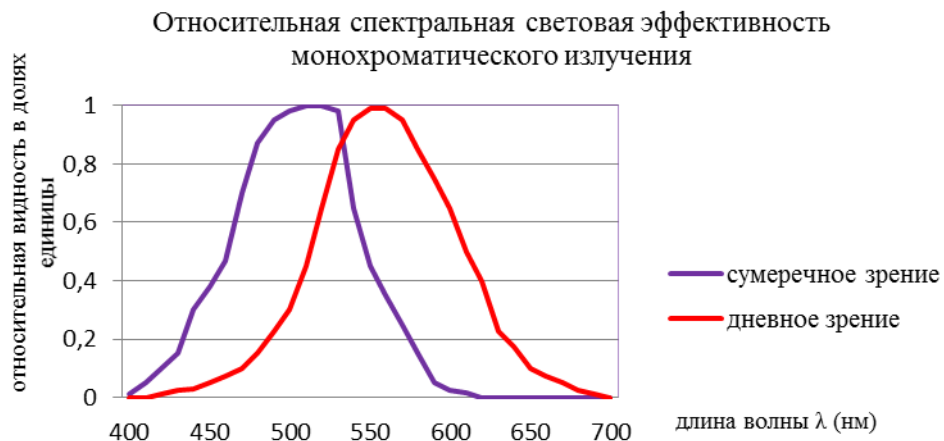
Дефицит природного света на протяжении длительного рабочего времени вызывает ощущение монотонности, как следствие нарушение циркадных ритмов, как следствие - десинхроноз. Такие условия могут возникать в северных регионах из-за географических особенностей и специфики фотопериодизма [8, 10].

Наряду с общими нормами освещения, регламентирующими уровень освещенности в разных цехах, в проектировании освещения необходимо учитывать отраслевые нормы, построенные с учетом действительных условий зрительной работы. Параметры оценки качества света для имитационного моделирования световой производственной

среды должны быть едиными для естественного и искусственного освещения. Это позволит согласовать две стороны одной задачи и обеспечить незаметный переход от естественного к искусственному освещению, тем самым сгладить психофизиологические особенности восприятия рабочего процесса операторов в ночные и вечерние смены [7,13].

Анализ характеристик двух типов освещения выявляет, что для их идентичного восприятия необходимо адаптировать относительные параметры спектра и яркости Солнца с помощью современных источников. Здесь необходимо учитывать, что распределение яркости является решающим фактором зрительного восприятия. Известен тот факт, что, разнспектральный свет усиливает неоднородность световой среды, а одноцветное излучение источников с плохой цветопередачей, например, натриевых ламп, зрительно гомогенизирует видимое пространство [7].

Для проектирования световой концепции имитации видимых характеристик солнечного солнца, в интерьере в исследовании выявляются его визуальные характеристики в диапазоне длины волны спектра 480-780 нм.



**Рис. 1.** Относительная спектральная чувствительность глаза к излучению различных длин волн.

На рис. 1 представлены кривые относительной спектральной чувствительности глаза при сумеречном и дневном свете. Максимальная чувствительность глаза при дневном свете при длине волны – 555 нм, а при сумеречном свете – 507 нм, что в цветовом спектре соответствует зелёно-желтому диапазону [7,10].

Оптимальная освещенность производственных цехов, согласно проводимым исследованиям, среди 1300 рабочих, в том числе пожилых, составляет 1000-1200лк. К определению выбора типов искусственного источников освещения необходимы принципы комплексного подхода [12].

Гипотеза представленного исследования заключается в том, что для ощущения реалистичности светового дня недостаточно создания беспеременного освещения, отсутствие световой динамики на протяжении длительного времени (сменный график работы), может ухудшать не только зрительное восприятие, но и негативно сказаться на общем самочувствии, впоследствии скажется на психоэмоциональном здоровье человека.

Чтобы осуществить идею имитации света Солнца и его движения в интерьере производственного пространства необходимо провести анализ современной элементной базы источников света с учетом особенности их управления. К выбору ламп, в специфике помещений цехов, необходимо применять комплексный подход,

который будут соотнесены характер зрительной работы, конструктивные особенности здания и его инсоляцию. Кроме того, наряду со светотехническими характеристиками источников света, особое внимание уделить топографическому месторасположению цехов с точки зрения экологических аспектов использования ламп, поскольку для сохранения чистоты окружающей среды в отдельных районах важным является минимизация вредных твердых и газообразных, отходов от использования ламп. К критериям, определяющим выбор ламп, рассмотренных в таблице 1, для создания комфортных светосценариев, добавлен аспект наличия опасных составляющих и элементов (стеклянные колбы, вредные вещества и др.) [14].

**Таблица 1.** Сводная таблица известных параметров характеристик ламп различного типа.

Параметры сравнительных характеристик	Различные типы источников искусственного света							Светодиодные светильники
	Лампы накаливания		Люминесцентные лампы		Разрядные лампы			
	Обычная	Галогенная	Компактная	Обычная люминесцентная	Ртутная разрядная	Металлогалогенная	Натриевая	
Средний срок эксплуатации, часы	1000	2000-3000	10000	10000-15000	12000-15000	6000-12000	20000	50000-100000
Индекс цветопередачи, R <sub>c</sub>	80-90	80-90	70-80	70-80	45	80-90	25	75-95
Цветовая температура, К	2400-2700	3000	2700-6000	2700-6000	9000-10000	3000-6000	2000	2800-10000
Стробоскопический эффект	нет	нет	есть	есть	есть	есть	есть	нет
Наличие вредных веществ	нет	нет	есть	есть	есть	есть	есть	нет
Наличие опасных составляющих элементов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть	нет
Специальные условия хранения	нет	нет	есть	есть	есть	есть	есть	нет

Сравнительный анализ светотехнических характеристик светильников для разработки дизайнерского решения комфортного динамичного светосценария в дневное время в производственных помещениях, были выбраны светодиодные светильники по светотехническим, энергетическим, габаритным и характеристикам [14]. Однако, такие светильники имеют существенный недостаток в том, что не все их разновидности диммируются, поскольку конструкция обычной [светодиодной лампы](#) содержит микровыпрямитель, который преобразовывает переменное напряжение 220В в постоянное. Это устройство имеет только два положения для регулировки света – включить и выключить. Диммер позволяет плавно изменять освещенность в диапазоне от 10 до 100% [15,16].

Поскольку светодиодные лампы по техническим и размерным характеристикам имеют широкий диапазон, определив конкретные задачи в моделировании технологически сложных светосценариев имитации естественного освещения, рекомендуется комбинировать лампы различного спектра, яркости и цветовой температуры в единый элемент конструкции, см. таб. 2.

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики естественного солнечного света и светодиодного светильника типа Небосвет-1.

Описание характеристик света светодиодного светильника Небосвет-1	Характеристики естественного света Солнца
Диапазон светового излучения <b>380-760 нм</b>	Видимый спектр солнечного света
Цветовая температура <b>4600 К</b>	Цветовая температура солнечного света в полдень, белый свет
Световой поток <b>4500 лм</b>	Соответствует обычной освещенности в средних широтах
Форма квадратный элемент	Рекомендуется компоновка световых элементов в круглой форме конструкции арматуры
Индекс цветопередачи (CRI) <b>90%</b>	Индекс цветопередачи (CRI) <b>более 80%</b>

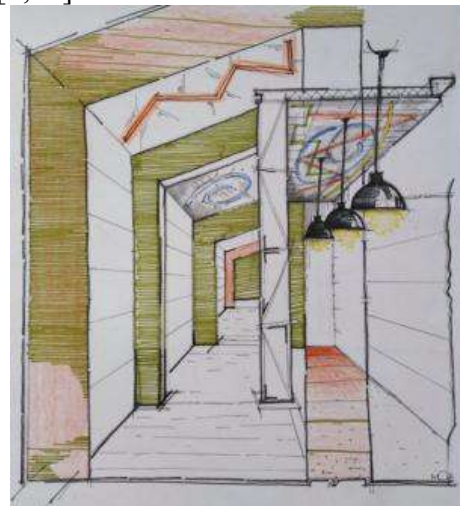
Световой сценарий осветительных систем Небосвет-1, Небосвет-2, с характеристиками в таблице 2, создавались для цветопередачи высокого качества. Такие системные светоэлементы предназначены для использования в художественных мастерских, содержит светодиодные элементы несколько типов с различной цветовой температурой в одной конструктивной комплектации. Подобные типы систем искусственного света могут применяться в имитации естественного освещения в закрытых производственных помещениях, что позволит моделировать стабильный дневной свет небосвода в полдень [16].

Управлять яркостью и цветовой температурой освещения можно программно, включением-отключением различных групп светильников как показано на рисунке 2а. Концепция такого предложения освещения в том, что симуляция естественного света как бы происходит в реальности, а цветовая температура источников постепенно изменяется от утреннего Солнца к закату, с акцентом в полуденном режиме [16, 17].

В идее моделирования естественного светового сценария предлагаются для производственных цехов, на рисунке 2б рассмотрен композиционный прием, способный обеспечить иллюзию движения освещения, нивелирующее ощущение монотонности света графическими способами [3,14].



а)



б)

Рис.2 Эскизы светового решения освещения производственных помещений.



а) имитация дневного динамичного режима естественного света; б) статичный режим освещения с эффектом движения посредством графического композиционного приема. Эскизы Васильевой М.О.

Кроме того, для промышленных пространств, могут применяться современные оптические осветительные технологии, для имитации иллюзии естественного света небосвода (рисунок 3а), а так же традиционные приемы движения и отражения света от поверхностей (рисунок 3б).



**Рис.3** Использование современных и традиционных оптических приемов в обеспечении комфортного освещения производственных помещений. Голографический фон на потолке (слева), отраженный свет от плоскости потолка (справа). Эскизы Перминова С.А, Васильченко Н.А.

#### **Выводы исследования:**

1. Рассмотрены основные аспекты проблемы создания комфортного искусственного освещения в производственных световых условиях цехов. Выявлены причины, которые оказывают негативное влияние на восприятие смены сезонных и суточных световых ритмов, тем самым снижают работоспособность и наносят вред здоровью работающего персонала в производственных помещениях.

2. Актуализирована потребность в коррекции световых условий к адаптации в синхронизации циркадных ритмов работающего контингента, их влияние на психофизиологическое восприятие.

3. Изучены визуальные характеристики свойства Солнечного света и возможности его имитации с помощью современных адаптивных источников света.

4. Определена специфика искусственных источников света, характеристики которых позволяют имитировать естественный Солнечный свет.

5. Представлены эскизы симуляции комфортного освещения с управляемыми светосценариями.

#### **Список использованной литературы:**

1. Лойко А.О. Проблемы отрасли машиностроения России в условиях мирового кризиса и пути их преодоления // научное сообщество студентов ххi столетия. Экономические науки: сб. Ст. По мат. Ххvii междунар. Студ. Науч.-практ. Конф. № 12(27). Url: [http://sibac.info/archive/economy/12\(27\).pdf](http://sibac.info/archive/economy/12(27).pdf) (дата обращения: 14.09.2019).

2. Ефимов А.В. и др. Дизайн архитектурной среды: Учеб.для вузов/ Г.Б.Миневрин, А.П.Ермолаев, А.В.Шимко, Н.И.Щепетков, А.А.Гаврилина, Н.К.Кудряшов – М.:Архитектура-С, 2004-504 с.ил.

3. Шевелев И.Ш. Принципы пропорций: о формообразовании в природе мерной трости древнего зодчего, архитектурном образе, двойном квадрате и возникающих подобиях.—М.: Стройиздат, 1986. — 200с., ил.

4. Щепетков Н.И. Световой дизайн города: учеб. пособие – М.:Архитектура-С,2006-320с.:ил.

5. Кухта М.С., Хомушку О.М., Хмелевский Ю.П., Куценко Л.Е. Дизайн интерьерных световых панно с использованием LED-технологий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. . -2017.- №1(32) , стр.96-99. Изд-во: [Уральский Орден "Знак Почета" научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт РААСН](#)(Екатеринбург)ISSN: 2074-2932.

6. Шапин Е.В. Использование современных технологий освещения при проектировании объектов средового дизайна // Концепт.-2014.-Спецвыпуск №6.-ART14576. – 0.3п.л. – [URL:http://e-koncept.ru/2014/14576.htm](http://e-koncept.ru/2014/14576.htm). - [Гос. рег Эл № ФС 77-49965.- ISSN 2304-120X](#).

7. Брейнард Дж.К., Бернекер К.А. Влияние света на физиологию и поведение человека // Светотехника.– 1996.– № 1–2. – С. 10–13.

8. ЧашинВ.П., ГудковА.Б., ПоповаО.Н, ОдландЮ.О., КовшовА.А. Характеристика основных факторов риска нарушения здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/harakteristika-osnovnyh-faktorov-riska-narusheniy-zdorovya-naseleniya-prozhivayuschego-na-territoriyah-aktivnogo-prirodopolzovaniya> (дата обращения 16.03.2019.).

9. Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаз хорошо, что - плохо. - М.: МЦ "Видеоэкология", 1997.

10. Зарипов А.А., [Янович К.В.](#), Потапов Р.В., [Корнилова А.А.](#) Современные представления о десинхронозе./ [Современные проблемы науки и образования](#). Издательство: [Издательский Дом "Академия Естествознания"](#)(Пенза),№3 2015, стр.176. eISSN: 2070-7428.

11. Рунге В.Ф. Эргономика и оборудование интерьера: Учеб. пособие. - М.:Архитектура-С, 2011.

12. Гусев Н.М. Освещение промышленных зданий. 1968.

13. Гусев Н.М. Свет в архитектуре. 1937 г.

14. Васильева М.О., Кухта М.С. Светодизайн интерьера: традиции и современность/ Вестник СПГУТД / Дизайн. Материалы. Технологии. / — 2018. — №4 (52). – С. 35-41.

15. ВасильеваМ.О., КухтаМ.С. Принципы разработки световых сценариев: управление светом в интерьере. [АКАДЕМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН](#) Издательство: [Уральский Орден "Знак Почета" научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт РААСН](#) (Екатеринбург) ISSN: 2074-2932.

16. Иванов А. В., Фёдоров А. В., Зайченко Т. Н., Целебровский И.В. Исследование и разработка элементов и узлов системы управления светодиодным источником света с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-razrabotka-elementov-i-uzlov-sistemy-upravleniya-svetodiodnym-istochnikom-sveta-s-uluchshennymi-tehnicheskimi-i> (дата обращения 12.03.2019.)

17. Васильева М.О., Галич М.В. Эргономика элементов управления в дизайне интерьерных светильников комбинированного освещения // Труды Академии технической эстетики и дизайна. — 2018. — №2. С.27-30.

Сведения об авторах:

Васильева Марианна Олеговна, аспирант ТПУ адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, e-mail: [marran@sibmail.com](mailto:marran@sibmail.com).



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВЕРСИЙ ПАКЕТА AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL

*Д. И. Пахоруков, студент гр. 5В81  
Ю. Ю. Будницкая, к.т.н., доц.,*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,  
тел. (3822)-444-555*

E-mail: [i-paxorykov10@mail.ru](mailto:i-paxorykov10@mail.ru)

Дизайн в машиностроении - это творческая и проектная деятельность, связанная с проектированием нового и модернизацией ранее созданного технического оборудования. Дизайнер в машиностроении в первую очередь является конструктором. Работа дизайнеров при создании новых моделей технического оборудования стала значительно интереснее и продуктивнее с применением современных компьютерных инженерно-конструкторских программ включающих трехмерную графику. Они сокращают время работы над проектом, расширяют технические возможности, облегчают графическое оформление проекта.

В Томском политехническом университете студентов первого курса, возможных будущих конструкторов, обучают основам работы в программе Autodesk Inventor Professional. Inventor – это система трёхмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Autodesk Inventor Professional помогает студентам в обучении и понимании дисциплины инженерная графика, изучающей основные правила разработки, создания и оформления конструкторской документации. Также развивает у них навыки, пространственного мышления и умения работать с современным программным обеспечением.

Autodesk Inventor Professional используется в разных университетах. Одним из главных критериев его востребованности является возможность использования программы бесплатно в течении 3-х месяцев, что дает возможность студентам закреплять знания и выполнять домашние задания по проектированию вне стен вуза. Показателем того, что продукт действительно востребован, служит изменение рабочих программ и методики обучения студентов [1].

Среди других систем автоматизированного проектирования Autodesk Inventor Professional является оптимально-удовлетворяющим профессиональные запросы специалистов, т.к. применяется также при проведении уточненного прочностного расчёта [2, 3].

Каждый год у пакета Autodesk Inventor Professional выходят обновления. Но не всегда это оборачивается для пользователей положительно, так как стоимость нового пакета немалая, и требования к мощности компьютера, на который можно установить новую версию увеличиваются. К тому же очень трудно найти специальную обучающую литературу, описывающую все новые возможности и функции программы. В результате студенты, могут испытывать некоторые затруднения выполняя самостоятельные задания. В своей работе мы решили проанализировать действительно ли это так. Для сравнительного анализа использовали версии программ Autodesk Inventor Professional 2018-2019 г.

Inventor 2018 разработан для удовлетворения постоянно возрастающих потребностей современных специалистов в сфере проектирования и конструирования. Также отлично подходит для обучения основам трехмерного моделирования студентов, т.к. среда Autodesk очень проста в использовании и имеет приятный и комфортный

интерфейс. А улучшенные инструменты взаимодействия обеспечивают более эффективную работу с данными из различных источников для географически распределенных многопрофильных рабочих групп.

Inventor 2019 является результатом постоянной работы над повышением производительности, автоматизацией и совершенствованием основных рабочих процессов моделирования. Также эта версия подключается к облачным службам Autodesk, тем самым обеспечивая возможности совместной работы и проектирования.

Первыми отличиями между версиями в создании детали являются изменения в шапке программы. Вкладки Vault и Autodesk 360 уходят, а вместо них появляется вкладка Совместная работа. Программа Autodesk 360 запускалась отдельно от Inventor Professional, а версия 2019 года позволяет работать совместно внутри программы и с выходом в интернет и не требует входа в систему и запуска еще одной программы – Vault Basic. Аналогичные изменения произошли и во вкладке Файл, где исчезла строка Сервер Vault и появилась строка Общий доступ.

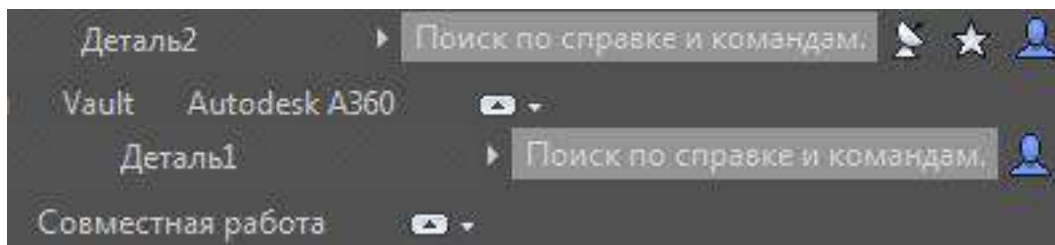


Рис. 1. Различия в шапке программы.

Во вкладке Аннотации добавилась функция Экспорт в DWF.

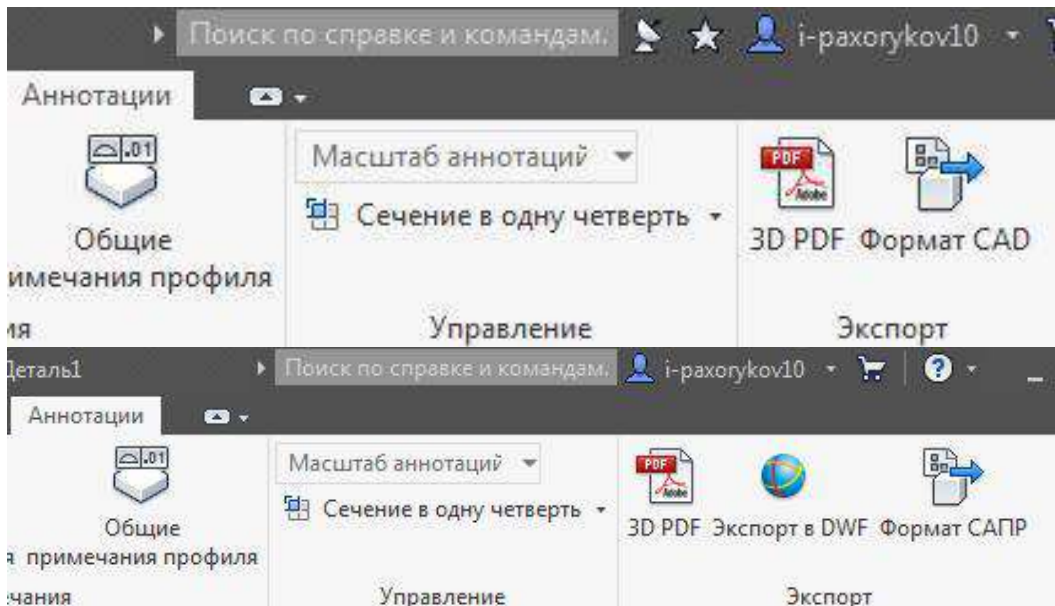


Рис. 2. Различия в аннотациях.

В новой версии также есть возможность перенести настройки с прошлой версии, например, конфигурации интерфейса. Это доступно во вкладке Инструменты, где Перенос настроек и Autodesk App Manager заменили Exchange App Manager.

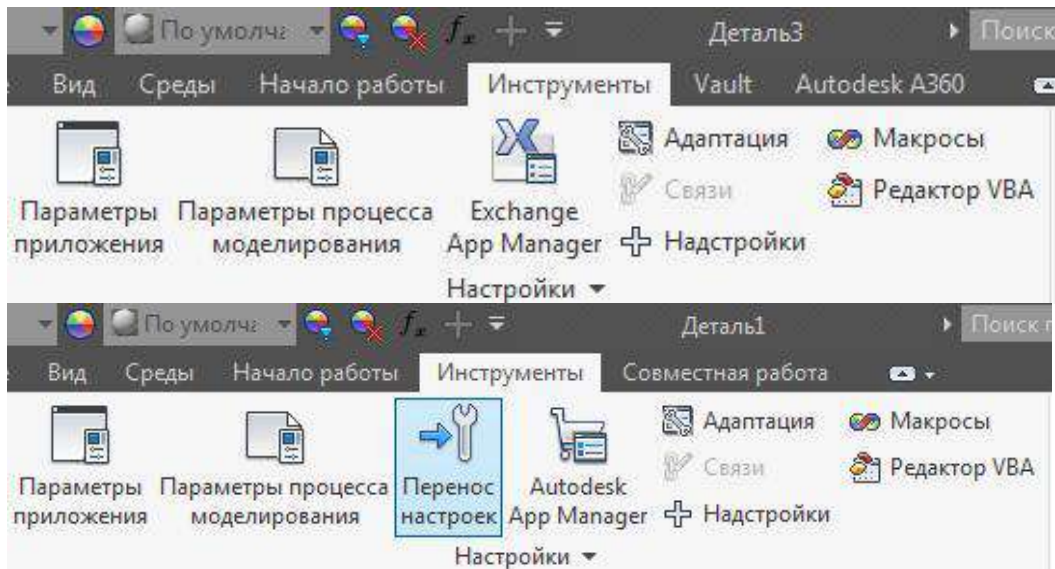


Рис. 3. Различия в инструментах.

Во вкладке Среды убрали функцию Eco Materials Adviser.

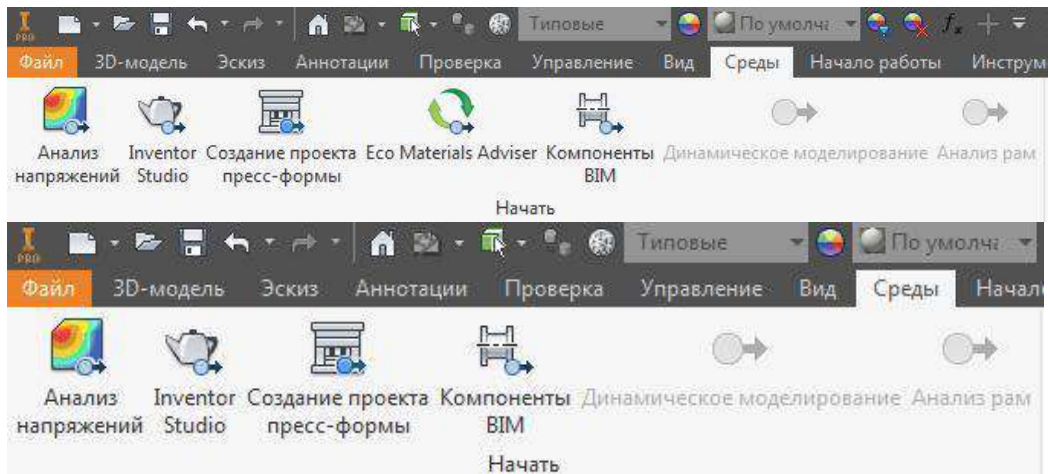


Рис. 4. Различия в средах.

При создании сборки сборочной единицы шапка программы меняется, и появляется вкладка Аннотации.

При создании чертежа, сразу видно отличие в листе по умолчанию. В браузере можно заметить, что вместо 5 вариантов формата листа, их становится 6. Вариантов рамки листа становится 1, вместо 7. Основные надписи также уменьшились с 3 до 2, и исчезли эскизные обозначения, т.е. дополнительные графы.

При создании схемы в шапке нет вкладки Среды.

Также в новой версии в шапке во всех режимах больше нет вкладок Коммуникационный центр и Избранное.

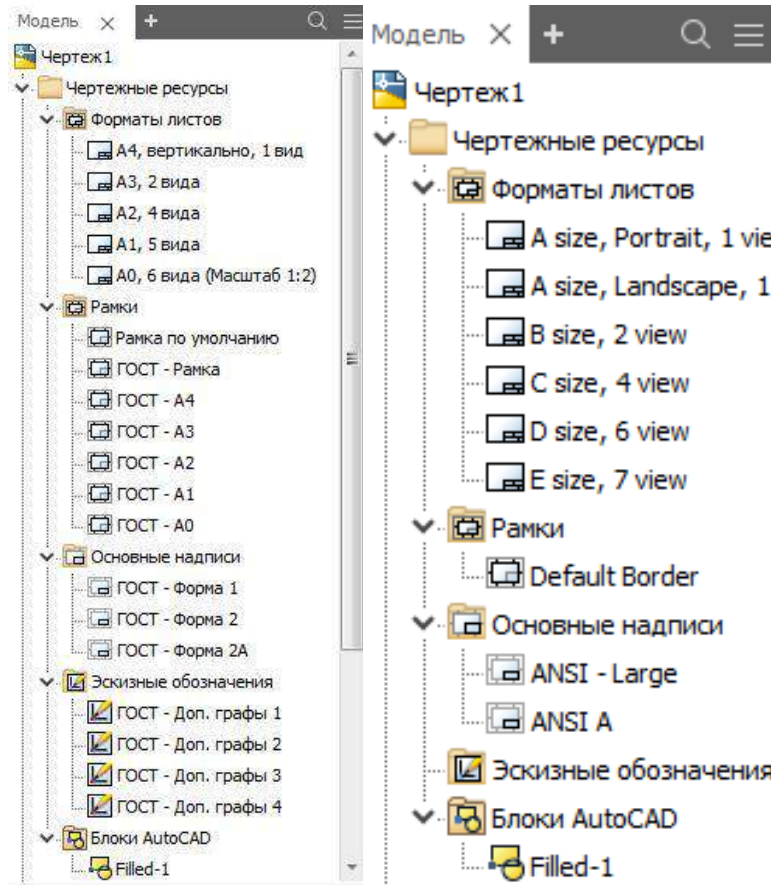


Рис. 5. Различия в конфигурациях листа.

В заключение, функционал версий 2018-2019 пакета Autodesk Inventor Professional отличается не очень сильно, лишь некоторые детали, конфигурации интерфейса и те или иные функции. Явных различий в возможностях версий 2018-2019 программы нет, по сравнению с другими САПР. Ежегодные обновления пакета могут сбить с толку пользователей, но это только в первые моменты использования программы. В целом, всё остается таким же удобным, практичным и многофункциональным, без каких-либо трудностей для восприятия человеком. Единственное, что может быть негативным в обновлениях, так это нагрузка на компьютер, немалая стоимость обновленной программы и невозможность открытия файла обновленной версии в более старой, но, именно, поэтому, в доступе у пользователей есть возможности пользоваться прошлыми версиями пакета.

### Список использованной литературы.

1. Телегин В. В., Телегин И. В. Графическая подготовка студентов на основе программных продуктов фирмы Autodesk // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – С. 24.
2. Богуцкий Б. В., Братан С. М., Богуцкий В. Б. Сравнительный анализ возможности двух САД сред Inventor и Компас 3D // Механики XXI века. – 2016. – №15. – С. 151 – 155.
3. Абдулмажидов Х. А. Основные задачи конструирования и возможности компьютерных программ при проектировании элементов наземных машин // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – №42-3. – С. 43 – 45.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА НА БОЛЬШОЙ ВЫСОТЕ

*Д.П. Крауиньш, к.т.н., доц.,  
Ю.С. Рындина, студент гр. 4НМ81  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555  
E-mail: [yulya.ryndina.96@mail.ru](mailto:yulya.ryndina.96@mail.ru)*

В течение многих лет для строительства ветрогенераторов используются мощные конструкции и подъемное оборудование. Башни ветрогенераторов достигают высоты более ста метров, но даже на такой высоте ветра еще медленны и прерывисты. Большие габариты ветроэнергетических установок создают вибрации, пагубно воздействующие не только на жителей близ лежащих территорий, но и на окружающую живую среду в целом: давно известный факт, что на территориях, прилегающих к ветроэнергетическим установкам фауна словно вымирает.

Данной проблеме есть альтернативное решение: размещение ветрогенераторов в воздухе, что не только безопасно для окружающей среды, но и обеспечивает более высокую эффективность работы ветрогенераторов, в связи с их выводом на большие высоты, скорость ветра на которых значительно выше, так как отсутствуют препятствия для ветровых потоков в виде деревьев и зданий.

Рассмотрим приближенную функциональную схему размещения ветрогенераторов в воздушном пространстве (Рис. 1).

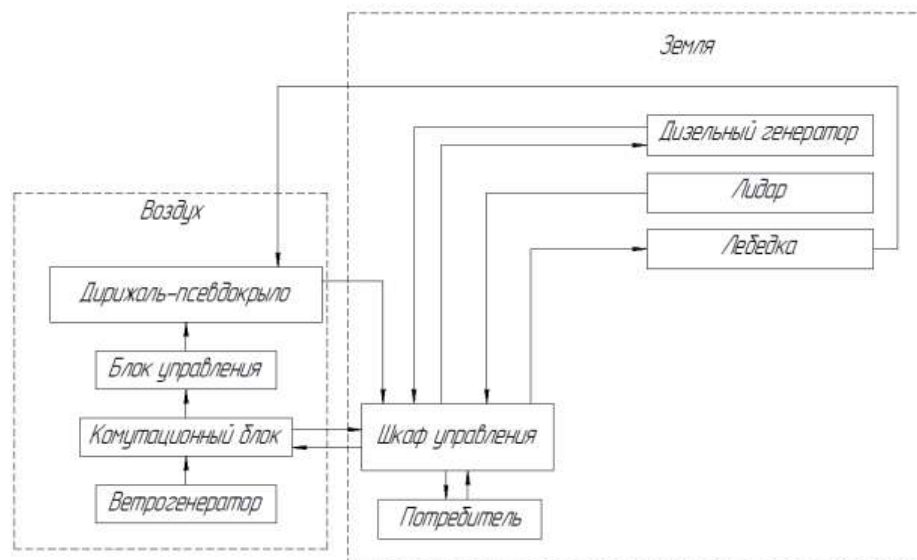


Рис. 1. Функциональная схема ветрогенератора-дирижабля

Конструкция данной ветроэнергетической установки представляет собой герметичный надувной дирижабль, на поверхности которого размещены ветрогенераторы. Дирижабль сам по себе представляет надувное летательное устройство, которое, подобно воздушному шару, плавает в воздухе посредством выталкивающей силы, при условии, что средняя его плотность меньше, либо равно атмосферной плотности. Внутри дирижабля может находиться разогретый воздух, гелий, различные типы нагревателей или водород, что обеспечивает ему подъемную силу и дальнейшее удержание на заданной высоте.

Материал, из которого может быть выполнен дирижабль разнообразен: ранние дирижабли изготавливались из промасленной лакированной ткани или других синтетических материалов, дирижабли выполнялись как однослойными, так и многослойными, что способствовало предотвращению утечек помещенного вовнутрь газа. На данный момент популярно изготовление оболочки дирижабля из стеклопластика, стеклопластик является прочным и долговечным материалом.

Дирижабль надежно соединен тросами, раскручивание и скручивание которых происходит при управлении лебедкой, что способствует фиксированию конструкции в заданной точке пространства.

Контроль работы оборудования, находящегося в воздухе и поступление электроэнергии, ведется через шкаф управления, который связан с коммутационным блоком и блоком управления размещенными в ветрогенераторе-дирижабле. Проходя через шкаф управления, электроэнергия поступает к потребителю.

Контроль скорости ветра в воздушных потоках производится по средствам лидара.

Лидар – прибор для измерения скорости ветра в разных слоях атмосферы, в установке, служит для оптимизации высоты расположения дирижабля, в соответствии с необходимой вырабатываемой мощностью.

В настоящее время уже есть примеры запуска подобных ветряных установок. Одним из самых ярких примеров является ветроустановка Airborne Wind Turbine (AWT) от компании Altaeros Energies. Ветроустановка способна успешно улавливать ветровые потоки на высоте 300 метров. На рисунке 2 представлен прототип данной установки. [1]

Российских проектов подобного плана пока не было представлено, хотя страна со множеством труднодоступных районов как никто другой нуждается в подобных разработках. Например, подобная разработка была бы очень актуальна в использовании в качестве источника энергии на нефтяных месторождениях и других труднодоступных вахтовых городках.



Рис. 2. Ветрогенератор-дирижабль Airborne Wind Turbine [1]

В примере ветроустановки Airborne Wind Turbine ветрогенератор дирижабль скомпонован таким образом: дирижабль имеет форму надувного кольца, внутри которого располагается ветрогенератор. Это расположение имеет свои преимущества: дирижабль для ветрогенератора играет роль диффузора, то есть улавливает поток воздуха и направляет его через ветрогенератор, однако форма данного ветрогенератора подразумевает большую парусность, и при сильных порывах ветра дирижабль может вырвать лебедку. Форма дирижабля может быть и более простой, напоминать собой пароплан, при такой форме ветрогенераторы будут размещаться на поверхности дирижабля. Такой дирижабль проще изготовить, и в отличие от предыдущего варианта парусность здесь достаточно низкая, что обуславливает его обтекаемая форма, в

следствии чего аварийные ситуации менее вероятны. На рисунке 3 представлен эскиз дирижабля-пароплана.

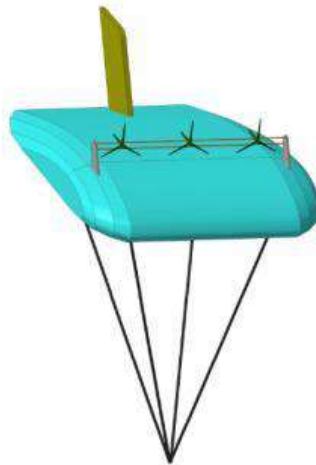


Рис. 3. Эскиз установки «Ветрогенератор-дирижабль»

При использовании дирижабля формы пароплана (псевдокрыла) возникает вопрос расположения ветрогенераторов: их можно располагать сверху (как представлено на рисунке 3) и снизу, однако, наиболее продуктивным является расположение ветрогенераторов сверху, что обуславливается следующим. Если рассмотреть аэродинамическую составляющую псевдокрыла, можно заметить, что крыло имеет плоскую нижнюю и выпуклую верхнюю поверхность. При поступательном движении происходит разделение встречного воздуха на два потока. Известно, что поток проходящий снизу пересекает путь АВ фактически по прямой, а поток обтекающий крыло сверху, проходит по кривой, длинной траектории. После прохождения за задней кромкой крыла происходит объединение потоков, из чего следует, что воздух над крылом проходит большее расстояние, посредством движения с большей скоростью, чем нижний поток, что более выигрышно для работы ветрогенераторов (схема обтекания псевдокрыла потоком представлена на рисунке 4). [2]

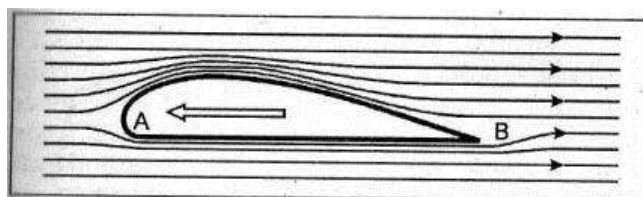


Рисунок 4. Схема обтекания псевдокрыла потоками воздуха [3]

Данное заключение основывается на аэродинамических исследованиях Н. Е. Жуковского.

По завершению обзорного исследования можно констатировать, что идея внедрения воздушных ветроустановок вполне реальна и актуальна на данный момент на территории России. В дальнейшем планируются конструирование модели, проведение математических расчетов поведения модели в реальных условиях воздушного пространства, проведение аэродинамических испытаний установки в среде Solidworks Flow Simulation, создание и испытание опытного образца воздушной ветроустановки.

#### Список литературы:



ХII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

1. Летающие ветрогенераторы — прорывная инновация? [Электронный ресурс]. – URL: <https://econet.ru/articles/164497-letayuschie-ventrogeneratory-proryvnaya-innovatsiya> (дата обращения 05.11.18.)
2. Испытание ветрогенератора-аэростата [Электронный ресурс]. –URL: <http://www.dnevnik.ykt.ru/Сур%20Бере/491963> (дата обращения 05.11.18.)
3. Аэродинамика круглого парашюта [Электронный ресурс]. –URL: <https://megaobuchalka.ru/7/493.html> (дата обращения 05.11.18.)
4. [Белов С. В.](#), [Гордиенко А. В.](#), [Проскурин В. Д.](#) Аэродинамика и динамика полета// Оренбургский государственный университет -2014 г. С 80-95
5. [Жуковский Н.Е.](#) Вихревая теория гребного винта – М.: Издательство ГИТТЛ - 1918 г. С 200-220
6. [Оглоблин А.П.](#) Систематические исследования крыльев//Труды центрального аэродинамического института -1933 г. С15.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКОГО МЕСТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИДЕНИЯ ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО АВТОБУСА

*Фех А.И., ст. преподаватель*

*Скачкова Л.А., ст. преподаватель*

*Николайчук А.Т.*

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

*тел.(3822)606-060*

*E-mail: [fehai@tpu.ru](mailto:fehai@tpu.ru)*

Целью данной работы является исследование и определение параметров, влияющих на устойчивое положение тела человека в положении сидя для определения оптимальных параметров при проектировании сидения для туристического автобуса.

Актуальность выбранной темы состоит в том, что сидение туристического автобуса представляет собой составляющий элемент, который оказывает сильное влияние на человека во время длительного путешествия. В то же время грамотный проект сидения формирует психологический и физиологический комфорт. Кроме того, форма сидения обеспечивает защиту пассажира во время долгого пути от вредного влияния продолжительной позы сидя на двигательные функции человека. К тому же, в условиях жесткой конкуренции производителей, эргономичность сидения является значительным элементом, который приносит свой большой вклад в создании конкурентоспособности.

При проектировании и разработке сидения нужно оперировать множеством параметров – от габаритных размеров кресла до антропометрических особенностей пассажира [1].

При использовании эргономических конструкций сидения человек естественно принимает правильные позы, при которых должным образом распределяются нагрузки, не нарушается кровообращение и, в целом, поддерживается хорошее самочувствие и работоспособность.

Изменение в типичной позе человека при использовании разных кресел может быть проиллюстрировано следующим образом рис.1.

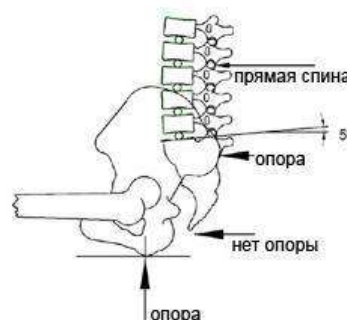


Рис. 1. Анализ эргономичности конструкции сидения.

Важным отличием эргономических конструкций сидения является сохранение естественной формы позвоночника и правильное распределение давления на тело человека.

Слишком долгое сидение без изменения позы, может затруднить циркуляцию крови, что проявляется в боли и онемении. Для того чтобы избежать этого, необходимо постоянно менять положение во время сидения, что помогает держать в равновесии вес головы и туловища [2]. Вытягивание ног вперед и разгибание коленей увеличивает

площадь, на которую приходится вес тела, и уменьшает нагрузку на остальные мускулы, поддерживающие туловище в равновесии. Другие позиции – подбородок опирается на кисть, а локоть на подлокотник или бедро или голова лежит на подголовнике. Важно отметить, что позы меняются неосознанно.

Если сиденье слишком высокое, сжатию подвергается нижняя поверхность бедра и вызывает дискомфорт и затрудняет кровообращение [2]. Если сиденье слишком низкое, ноги приходится расставлять в стороны и вперед, а в этом они неустойчивы. В общем и целом высокому человеку гораздо удобнее на низком сиденье, чем невысокому - на высоком.

Если глубина сидения слишком большая, передняя поверхность или край сиденья давят на область за коленями, затрудняя циркуляцию крови в ногах и ступнях. Сдавливание таких тканей приводит к раздражительности и дискомфорту. Гораздо большую опасность представляет возможность свертывания крови, или тромбоза, если пользователь долго не меняет положения тела [2]. Чтобы избежать дискомфорта, сидящий передвигает тело вперед, но спина остается без опоры, а равновесие удается поддерживать за счет больших мускульных усилий. Результат - усталость, дискомфорт, боль в спине.

Слишком мелкое сиденье создает у пользователя неприятное ощущение, он соскальзывает с сидения. Кроме того, без опоры остается нижняя часть бедер. С точки зрения антропометрии расстояние от ягодицы до подколенной ямки в положении сидя – это то измерение, которое, прежде всего, учитывается при определении глубины сиденья.

Размер, конфигурация и место расположения спинки чрезвычайно важны для удобства пассажира, эти параметры сложнее всего рассчитать. Основная функция спинки – обеспечивать поддержку поясничного отдела. Поэтому, конфигурация спинки должна до определенной степени соответствовать изгибу позвоночного столба, особенно в области поясницы. Кроме того, обязательно расстояние, необходимое для выступающих частей ягодиц [3].

Подлокотники сидения могут использоваться для выполнения нескольких функций. Одной из таких функций является распределения веса рук пассажира на определенную поверхность подлокотника, в другом случае, когда пассажир встает или садится, подлокотники выполняют функцию опоры. С точки зрения антропометрии, при определении размера и местоположения подлокотников, приходится учитывать несколько факторов. Высота подлокотника должна соответствовать расстоянию от поверхности сиденья до согнутого локтя в положении сидя [3]. Если представить, что один пассажир – полный, с большой шириной тела, а другой – очень стройный, но у них одна и та же высота локтя. Исследования показывают, что в таких случаях пассажиру с узким телом подходят более высокие подлокотники, т. к., если руки разведены в стороны, чтобы соприкоснуться с подлокотниками, вертикальное расстояние от локтя до сиденья увеличивается. Рекомендуется устанавливать подлокотники на высоте, подходящей пользователям с большей высотой локтя. Пассажиры с меньшей высотой локтя могут приподнять руки или плечи. Правда, если подлокотники слишком высокие, сидящий напрягает и приподнимает туловище и плечи, это приводит к усталости и дискомфорту из-за вынужденной работы мышц.

При определении эргономических параметров кресла, необходимо учитывать особенности пассажирского туристического автобуса, а именно: минимальный пассажирооборот или, чаще всего, его полное отсутствие [4]. Главными особенностями, а так же требованиями для туристических автобусов является: высочайший уровень комфорта и защищенности пассажира, высокая скорость и присутствие отделения для багажа. Самой популярной планировкой пассажирских сидений для данных автобусов является четырехрядная система. Вместительность автобуса формируется исходя из

полезной площади пола пассажирского автобуса и средней площади используемой одним сидячим пассажиром.

Полезной площадью в туристических автобусах, в которых размещены места только для сидящих пассажиров, считается та часть пола, которая занята сиденьями, а также к полезной площади относятся участки перед сиденьями для ног пассажиров. Остальная площадь пола пассажирского помещения, место центрального прохода и свободная площадь пола, которую не возможно использовать для размещения пассажирских сидений, в нужную не входят [4].

Средняя площадь для комфортного размещения одного сидящего пассажира, в соответствии ГОСТ 21777-76 равна: для междугородных автобусов - 0,340 м<sup>2</sup>, для туристических - 0,370 м<sup>2</sup>.

Для туристических автобусов используются сидения, которые имеют спинки, оснащенные подголовниками, регулируемые по уровню наклона, а также, могут применяться двухместные пассажирские сидения, которые регулируются по ширине. Ширина двухместного регулируемого сидения должна составлять в максимально сдвинутом положении не меньше 880 мм, в максимально разложенном положении — не меньше 950 мм.

Основные параметры пассажирских сидений и пассажирского помещения туристического автобуса, содержащиеся в ГОСТ 21777-76, ГОСТ Р 41.36-2004 рис.2.

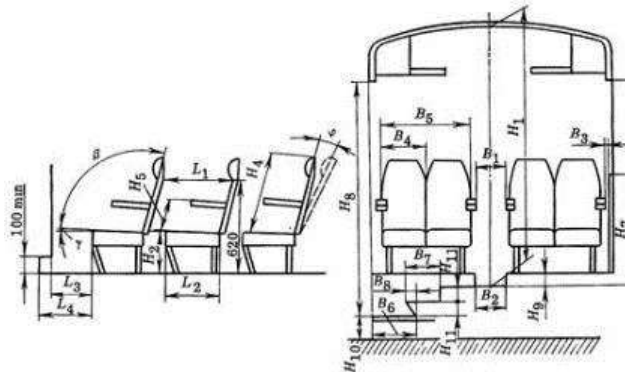


Рис. 2. Основные параметры пассажирских сидений и пассажирского помещения.

Багаж пассажиров располагают в определенных местах, размещенных под полом. Количество размещаемого багажа рассчитывается на основе нормы средней площади выделенной на одного пассажира, которая примерно равна 0,1 м<sup>3</sup>.

Согласно ГОСТ Р 41.36-2004 транспортные средства делятся на 3 класса: одноэтажные транспортные средства, разработанные и оборудованные для транспортировки пассажиров в количестве больше 22 человек. Существует возможность использовать транспортное средство больше чем в одном классе.

Автобусы, относящиеся к первому классу, в конструкции которых расположены места для стоящих пассажиров, должны обеспечивать пассажирообмен.

Автобусы относящиеся к транспортным средствам второго класса, разработанные в первую очередь для транспортировки сидячих пассажиров, но в которых определенные зоны могут отводиться для стоячих пассажиров, которые находятся в проходах или в тех зонах, размер которых не превышает по своей площади пространства, нужного для установки нескольких парных сидений [5].

Транспортные средства, относящиеся к третьему классу, разработаны исключительно для перевозки сидячих пассажиров.

В соответствии с ГОСТ Р 41.36-2004 минимальное значение ширины пассажирского сидения, а также включая складные сиденья и пространство для сидячих пассажиров должны соответствовать параметрам показанным на рис.3.

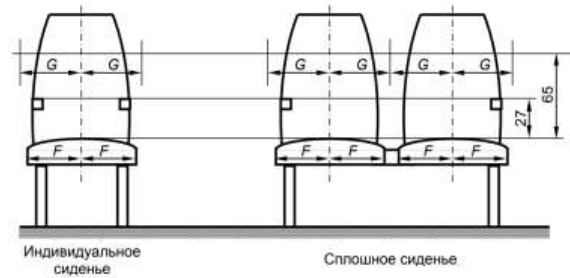


Рис. 3. Минимальная ширина пассажирских сидений.

Минимальные значение ширины подушки пассажирского сидения должны соответствовать:

1. В транспортных средствах классов I и II – 20 см;
2. В транспортных средствах класса III – 22,5 см.

Минимальная ширина свободного пространства для каждого места для сидения, измеренная от вертикальной плоскости, проходящей через центр этого места на высоте 27-65 см над недеформированной подушкой сиденья, должна составлять:

- для индивидуальных сидений – 25 см;
  - в случае сплошных сидений для двух и более пассажиров – 22,5 см.
- Минимальная глубина подушки сиденья рис.4.

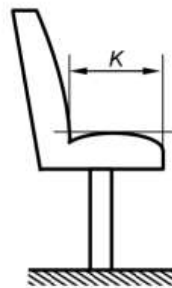


Рис. 4. Минимальная глубина подушки сиденья.

Минимальная глубина подушки сиденья должна составлять:

1. В транспортных средствах класса I – 35 см;
2. В транспортных средствах классов II и III – 40 см.

Высота подушки сиденья должна соответствовать параметрам на рис.5. Высота недеформированной подушки сиденья относительно пола должна быть такой, чтобы расстояние между полом и горизонтальной плоскостью, касающейся передней верхней поверхности подушки сиденья, составляла 40-50 см, однако высота может быть уменьшена не более чем до 35 см в местах надколесных дуг и моторного отсека[6].

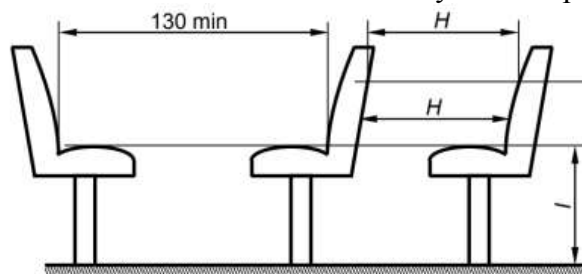


Рис. 5. Высота подушки сиденья.

Расстояние между сиденьями должно соответствовать рис. 5.

В том случае, если сидения обращены в одном направлении, расстояние, образующееся между передней стороной спинки сиденья и задней стороной спинки расположенного впереди сиденья при изменении по горизонтали и на любой высоте

над полом между верхней поверхностью подушки сиденья и высотой 62 см над уровнем пола должно быть не менее:

1. Для транспортных средств класса I – 65 см
2. Для транспортных средств классов II и III – 68 см.

Для основных параметров все измерения должны проводиться в вертикальной плоскости, проходящей через осевую линию каждого индивидуального места для сидения, когда подушки и спинки сидений находятся в несжатом состоянии [6].

При наличии поперечных сидений, обращенных друг к другу, минимальное расстояние между передней поверхностью спинок сидений, обращенных друг к другу, измеренное в поперечном направлении между наивысшими точками подушек сидений, должно составлять не менее 130 см.

Пространство для сидящих пассажиров представлено на рисунке рис. 6.

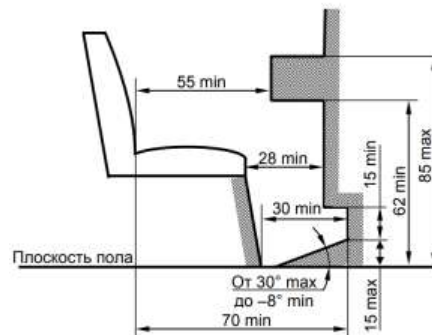


Рис. 6. Свободное пространство для сидящих пассажиров.

Необходимо предусмотреть свободное пространство, расположенное перед каждым пассажиром. Это пространство может быть частично занято спинкой впереди стоящего сидения или перегородкой, если контур данной перегородки соответствует контуру наклонной спинки сиденья [8]. К тому же есть возможность в этом пространстве расположить ножки сиденья, но только в том случае, когда они не уменьшают минимальное количество места для ног пассажира.

Также необходимо учитывать свободное пространство, находящееся над сиденьями. Над каждым пассажирским местом должно быть предусмотрено пространство, высота которого составляет не менее 90 см. Определяется данное пространство измерением от наивысшей точки недеформированной подушки сиденья. В это свободное пространство входит также пространство выше вертикальной проекции всей площади сиденья, а также примыкающего к нему пространство для ног [9].

Сидение в одной позе в течение долгого времени нежелательно, т.к. это приводит к лишним нагрузкам на тело. Поэтому необходимо изменять свое положение, вытягивая ноги настолько часто, насколько это возможно, выгибать спину. Динамические изменения угла наклона сиденья во время пути помогают устранить лишнее напряжение.

Во время сидения, устойчивость тела обеспечивает не только само сиденье, но и нижние конечности и спина, контактирующие с другими поверхностями, при этом требуются некоторые мускульные усилия. А чем больше требуется мускульных усилий и контроля, тем больше усталость и ощущение дискомфорта.

Исходя из него, можно выделить эргономические параметры сиденья для туристического автобуса:

1. Конструкция позволяющая переносить длительные путешествия.
2. Универсальность (95й мужской и 5й женский перцентиль).

3. Ноги пассажира должны располагаться на полу автобуса. Кроме того угол между икрой и поверхностью стопы должен составлять 90\*.

4. Форма спинки кресла должна способствовать поддержанию естественной формы позвоночника. Спинка сидения должна находиться под определенным наклоном, это предотвратит вредное влияние долгого сидения и обеспечит нормальное функционирование внутренних органов.

5. Скошенная в передней части форма сиденья предотвращает нарушение кровообращения в ногах.

6. Должна быть возможность настройки высоты подлокотников, в результате чего между предплечьем и рукой сформируется тупой угол. Подлокотники отрегулированы таким образом, чтобы не возникало статического напряжения в мышцах плечевой зоны и предплечья.

7. Для предотвращения онемение ног и давление на поверхность бедра, необходимо использовать всю глубину сидения.

8. Конфигурация спинки должна до определенной степени соответствовать изгибу позвоночного столба, особенно в поясничном отделе

9. На устойчивое положение тела человека в позиции сидя влияет наклон сиденья, мягкость обивки, наличие одежды и характер движений при усаживании и вставании со стула, а также глубина сиденья стула.

#### **Список литературы:**

1. Брюхов А.П., Головин Д.В., Козырин Н.С. "Определение параметров эргономики посадочного места пилота при проектировании кресла болида формула студент" Москва, 2016г., УДК 629.371.21.042:331.101.1

2. Ишал В.А. К вопросу о возможностях консервативного лечения сколиоза // ортопедия, травматология и протезирование. – 1990. - № 3.

3. Костромина С.В., Ковалева И.И. Анализ параметров, влияющих на эргономическое положение тела человека в позиции сидя // Альманах современной науки и образования Тамбов: Грамота, 2008. № 5 (12). С. 72-74. ISSN 1993-5552.

4. Панеро Д.Ж. Основы эргономики. Человек, пространство, интерьер: справочник по проектным нормам / Джулиус Панеро, Мартин Зелник / пер. С англ. – м.: астрель, 2006. – 319 с.

5. Петров А.П. Основы эргономики и дизайна в автомобилестроении: учеб пособие. / А.П. Петров. – курган: изд курганского государственного университета, 2004. – 163 с.

6. Спм 29506 российская федерация, мпк 7 в 60 п 2/00. Спинка сиденья транспортных средств / Кравец В.Н., Шишкин В.И., Шишкин М.В. (рф) № 2002128297/20; заявлено 28.10.2002; опубл. 20.05.2003, бюл. № 14. - 2 с

7. Шишкин Михаил Владимирович Разработка методики расчета и выбор рациональной формы поверхностей автомобильных сидений - Н.Новгород: Изд. НГТУ, 2003. С. 105.

8. Шишкин В.И., Шишкин М.В. Критерии объективной оценки комфортности сиденья // проблемы транспортных и технологических комплексов: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 30-летию кафедры "строительные и дорожные машины". - н. Новгород: изд. Нгту, 2002. С. 210-215.

9. Эргономика URL:<http://www.bogart.ru/docs/id60.htm> / (Дата обращения: 10.04.2019)

10. Sophia tetthea, Larisa bowen-dodoob, Samuel koje kwofieb Ergonomics assessment of locally fabricated passenger seats in trotro vehicles in accra, ghana URL:<https://sci-hub.tw/10.1016/j.jth.2017.06.005> / (Дата обращения: 10.04.2019)



**ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ**

*Ю.П. Хмелевский, аспирант,  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел. +79138826839  
E-mail: [hmelevskiy@tpu.ru](mailto:hmelevskiy@tpu.ru)*

Сегодня приоритетными направления эргономики стали не только изделия военной и космической техники, но и медицинское и реабилитационное оборудование. Применение эргономического анализа в разработке дизайна реабилитационных тренажеров будет способствовать созданию удобного в управлении и в следствии этого эффективного в использовании изделия. [1]

Выделяют три цели эргономики, которые формируют ее структуру это эффективность системы "человек-техника-среда", безопасность работы в ней и создание условий, обеспечивающих комфорт и развитие личности человека оператора и пять групп эргономических показателей, которые определяют состав эргономики: антропометрические, гигиенические, физиологические, психофизиологические и психологические [2].

Перечисленные выше эргономические показатели необходимо учитывать при дизайн-проектировании реабилитационного оборудования. Рассмотрим подробнее значение антропометрического показателя, то есть соответствие конструкции реабилитационного оборудования для разработки верхних конечностей в положении стоя, размерам и форме человеческого тела. Для антропометрического анализа положения тела человека и машины используются экспериментальные, макетные методы основанные на применении макетирования проектируемого оборудования в различном масштабе и с разной степенью детализации, а также метод соматографии результаты анализа которого обычно представляются в графической форме. Соматография позволяет рассчитывать зоны легкой и оптимальной досягаемости, а также наиболее удобно организовывать пространство для использования реабилитационного оборудования исходя из антропометрических показателей человека [3].

При проведении соматографического анализа не учитываем индивидуальные особенности людей, а ориентируемся на размеры и средние пропорции тела человека, которые определены статистически. На рисунке 1 и в таблице 1 показаны средние антропометрические показатели человека в положении стоя.

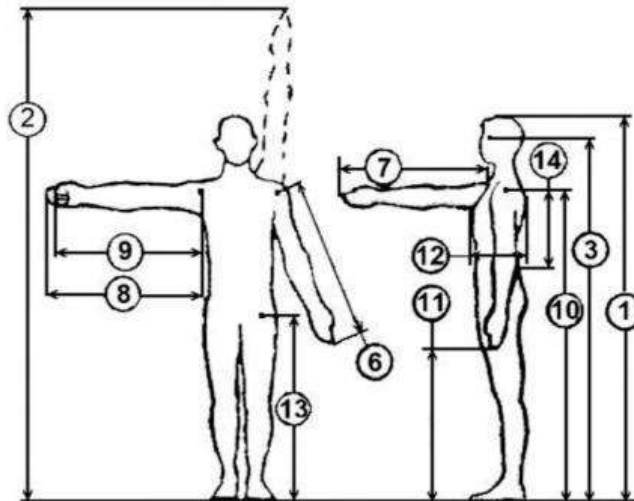


Рис. 1. Средние антропометрические показатели человека в положении стоя.

Таблица 1. Средние антропометрические показатели человека в положении стоя.

№ измерения	Наименование признака	Мужчины, мм	Женщины, мм
1	Длина тела (расчетный рост)	1700	1600
2	Длина тела с вытянутой вверх рукой	2140	2000
3	Высота глаз	1560	1460
4	Ширина плеч	380	350
5	Дельтоидная ширина плеч	446	418
6	Длина руки	754	697
7	Длина руки, протянутой вперед	743	686
8	Длина руки, вытянутой в сторону	723	651
9	Длина редуцированной руки	620	568
10	Высота плечевой точки	1373	1281
11	Высота пальцевой точки	620	584
12	Наибольший поперечный диаметр	300	300
13	Длина ноги	910	835
14	Длина плеча	327	302

Проведем соматографический анализ реабилитационного тренажера «виктория» благодаря которому выеваем статические и динамические эргономические антропометрические признаки. Статические признаки определяются при неизменном положении тела человека, динамические признаки – это размеры, измеряемые при перемещении тела или его частей в пространстве. На чертежах тренажера в соответствующем масштабе вычерчиваем схематическое изображение фигуры человека в статическом положении, проходящего курс реабилитации. На рисунке 2 представлены

соматографические изображения пользователя тренажера в статическом положении минимального и максимального роста.

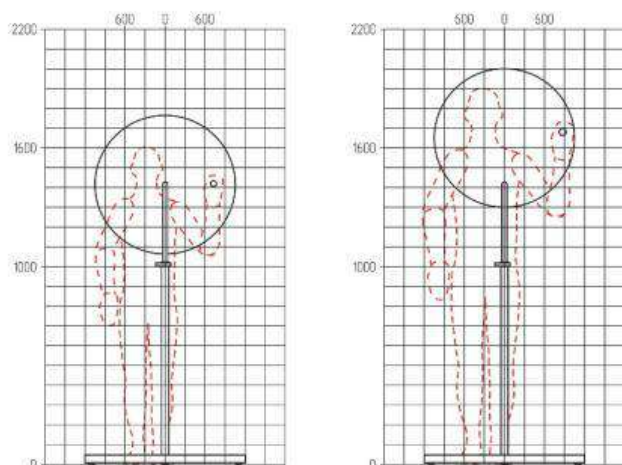


Рис. 2. Соматографические изображения пользователя тренажера в статическом положении минимального и максимального роста.

Затем на чертежах тренажера в соответствующем масштабе вычерчиваем схематическое изображение фигуры человека и показываем угол движения рук во время курса реабилитации. На рисунке 3 представлены соматографические изображения пользователя тренажера в динамическом положении с показом угла вращения рук.

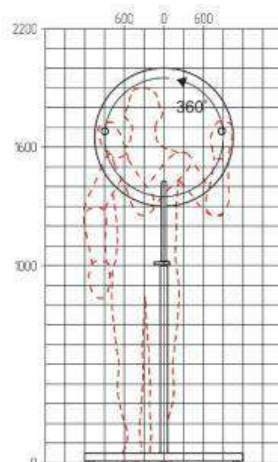


Рис. 3. Соматографические изображения пользователя тренажера в динамическом положении с показом угла вращения рук.

Однако при проектировании системы "человек-техника-среда", чтобы сохранить удобство использования для людей низкого и высокого роста, некоторые параметры конструкции реабилитационного оборудования предусматриваем изменяемыми, такие как высота стойки тренажера состоящей из стальных труб, входящих друг в друга, фиксируемых с помощью хомута и положение ручки вращения как показано на рисунках 4 и 5. [4].

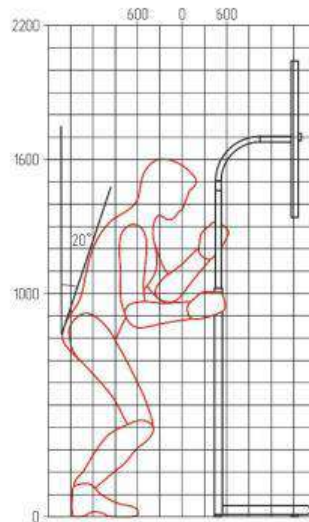


Рис. 4. Соматографические изображения пользователя тренажера, регулирующего высоту стойки тренажера под требуемый рост.



Рис. 5. Колесо тренажера с расположением ручки вращения и отверстий с резьбой.

В результате проведенного соматографического анализа реабилитационного тренажера «виктория» были выявлены статические и динамические эргономические антропометрические признаки, а также было подтверждено соответствие размеров проектируемого объекта средним антропометрическим показателям человека в положении стоя. Подводя итог можно отметить что представленный метод позволяет эффективно оценивать разрабатываемые конструкции реабилитационного оборудования и использовать в процессе дизайн-проектирования [5].

#### Список литературы:

1. Seryakov, Vadim Aleksandrovich. The design features of the body of the portable electrocardiograph "ECG-EXPRESS" [Electronic resource] / V. A. Seryakov, Yu. P. Khmelevsky, G. Ya. Mamontov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2015. — Vol. 93: Modern Technique and Technologies (МТТ'2015). — [012076, 7 p.]. — Title screen. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.
2. Курбацкая Т.Б. Эргономика. В 2-х частях. Часть 1. Теория. Учебное пособие. — Набережные Челны, 2013. — 213 с.
3. Эргономика: учебное пособие / сост. А.И. Фех; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 — 119 с.
4. Воронова Э.Ю., Дизайн и эргономика машин: методические указания к выполнению практических занятий/ Южно-Российский государственный

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2016. – 36 с.

5. Кухта М.С. Методология моделирования восприятия визуальной информации. Диссертация на соискание ученой степени доктора философских наук. / Томский государственный педагогический университет. – Томск, 2004. – 250 с.

XII Международная научно-техническая конференция  
«Современные проблемы машиностроения»

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Сборник научных трудов

XII Международной научно-технической конференции

Издано в авторской редакции