

СЕКЦИЯ 1

**«ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОД-
СТВО - НАУКА, ТЕХНОЛО-
ГИИ, ИННОВАЦИИ»**

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В МИРЕ Абдуллаева Г.Д. Туркменский сельскохозяйственный институт, город Дашогуз	11
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ АРМАТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ TRIMESH Амандусов А.И., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	17
ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН Арбапов С., Гурбанова М., Сапаров А., Аtdжанов Б., Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз, Туркменистан	21
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ BLENDER ПРОЦЕДУРНОЙ СТИЛИЗАЦИИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GEOMETRY NODES: АРХИТЕКТУРА, РЕАЛИЗАЦИЯ, ИНТЕГРАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА Архипова Н.А., кандидат искусствоведения, МИРЭА – Российский технологический университет, Московский международный университет, город Москва	26
ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ТУРКМЕНИСТАНЕ: ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ Гурбанова М., Беглиев В., Бабаева С., Непесов Д. Туркменский сельскохозяйственный институт, город Дашогуз	31
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЙ: МЕТОДЫ, ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ Фадеичев Д.А. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», город Москва Бахрачева Ю.С., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет», город Волгоград	35
ТРЕНДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПЕРЕХОД К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА Белоновская И.Д., д-р пед. наук, профессор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» Сазонова Т.В., канд. техн. наук, доцент Кумертауский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет»	40

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ Борисов А.В., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Миралимов И.Б. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	45
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Васильева Ю.В., Осипов Е.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	49
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Фролов С.И., Штудент И.К. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	54
ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МЕДИЦИНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ Гиндер М.В., канд. мед. Наук СПб ГБУЗ «Городская поликлиника №43», город Санкт-Петербург.....	58
АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, Магдин А.Г., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	61
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор, Калинина И. С., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Магдин А.Г., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	64
ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ POINTNET Дарьин И.С., Овечкин М.В., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	68
ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ Делиева А.П. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт научно-технической информации», город Донецк.....	73
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД	

РАБОТУ С РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ Ерёмин К.Н., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 78

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СО ВСТРОЕННОЙ ПРОВЕРКОЙ ДАННЫХ Калинина И.С., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Магдин А.Г., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 83

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНОЙ ПЛАТФОРМЫ Каменев С.В., канд. техн. наук, доцент, Целовальников И.М. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 88

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОДИНАМИКА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор, Канчурин Р.Я. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 92

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЁТА БПЛА И ИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ Каркаба П.Х., Петрова Е.А., Ондрина В.П. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 96

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА Каскинов И.З., Болдырев П.А., канд. техн. наук, доцент, Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 102

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ Кашина Ю.В., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 108

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНСТРУИРОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Клецова О.А., канд. техн. наук, Сергиенко С.Н., канд. техн. наук, Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» Жукова Д.М.

Государственное автономное профессиональное учреждение «Медногорский
индустриальный колледж» 113

**СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОНОВОК ГПС НА БАЗЕ
ХОНИНГОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ** Кульга К.С. д-р техн. наук,
профессор, Кадргулова Р.Ш., Гуров И.С., Халилов С.Ф. Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий» 118

**МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ: ОТ 3D-МОДЕЛИ К ЦИФРОВОМУ
ДВОЙНИКУ** Лазарев К.Е., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет» 123

СПЕЦИФИКА РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ДРОНОСФЕРЫ Лапин
Д.В., канд. социол. наук Автономная некоммерческая организация высшего
образования «Институт международных экономических связей», город Москва
Исмаилов А.К., Раппа К.И., Семичаевский С.С., Общество с ограниченной
ответственностью «ГТИ», город Москва 128

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ** Лапина О.Д. Автономная
некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Сколковский институт науки и технологий», город Москва 132

**ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ
(VR/AR) В ОБУЧЕНИИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ** Лихацкий А.Д.,
Архапчева М.В. Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Оренбургский государственный
университет» 137

**ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ
ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА** Логинов В.А., Поляков А.Н., д-р
техн. наук, профессор Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский
государственный университет» 141

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОПЛИВНОГО БАКА
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ** Луценко А.В. Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет» 146

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ
ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**
Ляшко И.Ю. Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 153

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В АВИАСТРОЕНИИ Магдин А.Г., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 158

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА Матушкин И. С., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 162

РЕАЛИЗАЦИЯ СЕЧЕНИЯ В VR-САПР ДЛЯ РАБОТЫ С STL МОДЕЛЯМИ Михеев Д.Н., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 166

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРТ РАСКРОЯ Московцева О.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 172

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРТ РАСКРОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА Московцева О.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 175

ПРИЛОЖЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА И ИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ Ондрина В. П., Каркаба П. Х., Петрова Е. А. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 178

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ЗАДАНЫМ ПАРАМЕТРАМ ИЗГОТОВЛЯЕМОЙ ДЕТАЛИ Петрова Е.А., Каркаба П.Х., Ондрина В.П. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 183

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРА-МЕХАНИКА В ОГУ Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор, Никитина И.П., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 188

ЭЛЕКТРОННОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ТЕХПРОЦЕССОВ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА Поляков Е.Ю., Кондусова В.Б., д-р техн. наук, Русяев А.С., канд. техн. наук, Кондусов Д.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	192
МОДУЛЬ ТРАНЗАКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ БИБЛИОТЕК КОМПАС-3D ИЗ ВЕБ-КАТАЛОГА Поляков К.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	197
Влияние генезиса на термическое поведение магнийсодержащих материалов при производстве оксида магния Махновская ¹ А.С., Гришин ¹ И.А., Пояркова ² Е.В., д-р техн. наук, доцент 1ООО «ЭКСИС», г. Ясный, 2Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	202
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Рагузин Д.А., Тугов В.В., д-р техн. наук, доцент, Воронин Е.Ю. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	207
БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕКА Решетов С.Ю., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» Никитин Ю.Р., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» Тимощенко Д.С. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	211
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ОДНОКАРБИДНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА МАРКИ ВК8 Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Висицкая А.В., Карабазак Т.Б. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург	216
ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА Т15К6 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Степанова М.П., Ласыгина С.А. Федеральное государственное бюджетное образовательное	

учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 220

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ НАПЛАВКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Солодская Е.А., Шамсудинова Е.И. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 225

ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА – ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор, Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 229

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПУТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАБОЧЕГО МЕСТА ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА Серегин И.О., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 235

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СЕРОВОДОРОДА Степанов А.Д., Симонова А.В., Пояркова Е.В., д-р техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 240

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ МАРТЕНСИТНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ 13X12H2B2MФ (ЭИ 961) Голенковская К.С., И.Ш. Тавтилов, канд. техн. наук, доцент, Тишина О.А. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 248

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛА Тишина О.А., Данилов А.А, Гайнуллин И.Ш., Колосок О.В., Колосок А. А., Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 254

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ЦЕМЕНТУЕМОЙ ДЕТАЛИ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 18X2H4МА Турушина О.А., Голенковская К.С., Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» 259

АЛГОРИТМЫ ПАРСИНГА АУДИОМЕТАДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА Топорков Н.М., Акинъшин А.В. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», г. Краснодар	264
ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИЕ АГРЕГАТЫ В СЕКТОРЕ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ФОНДОВ НЕФТЕДОБЫЧИ Федченко Д.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	269
ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ФОРМ ПОРШНЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА Целовальников И. М., Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор, Каменев С. В., канд. техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	274
ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗА В РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКЕ Цуканов А.В., Тугов В.В., д-р техн. наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	278
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА Щербаков А.А., Логинов В.А. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	283
ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ДЛЯ РЕЦИКЛИНГА Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	288
КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПО РАЗМЕРУ ЗЕРНА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»	293
ПРИМЕНЕНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ДЛЯ СПЕКАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В. Федеральное государственное бюджетное	

образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский
государственный университет» 298

**ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ** Юрьев Д.А. Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский
государственный университет» 302

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧАСТКА СКОРОСТНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ
Юсупов М.Е. Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Оренбургский государственный
университет» 307

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В МИРЕ

Абдуллаева Г.Д.

Туркменский сельскохозяйственный институт, город Дашогуз

Аннотация: в статье рассматриваются современные тенденции развития цифрового производства в сельском хозяйстве в глобальном контексте. Анализируются ключевые технологии «умного» сельского хозяйства, включая интернет вещей, искусственный интеллект, робототехнику, цифровые двойники, геоинформационные системы и биосенсоры. Особое внимание уделено международному опыту внедрения цифровых технологий, сравнительному анализу подходов разных стран и перспективам формирования устойчивых агросистем на основе цифровизации.

Ключевые слова: цифровое производство, умное земледелие, искусственный интеллект, интернет вещей (IoT), робототехника, продовольственная безопасность, глобальные тенденции.

Цифровая трансформация аграрного сектора является одной из ключевых тенденций мирового экономического и технологического развития в XXI веке. В условиях стремительного роста населения планеты, изменения климата, дефицита природных ресурсов и обострения глобальной продовольственной безопасности именно сельское хозяйство становится критически важной сферой внедрения инноваций. Традиционные методы агропроизводства уже не обеспечивают необходимого уровня эффективности и устойчивости, что обуславливает необходимость перехода к цифровым моделям управления агробiosистемами. Цифровое производство в сельском хозяйстве, также известное как «умное земледелие» (Smart Farming) или «точное сельское хозяйство» (Precision Agriculture), представляет собой комплекс технологий, основанных на использовании интернета вещей (IoT), больших данных, искусственного интеллекта, робототехники, геоинформационных систем, спутникового мониторинга и цифровых двойников. В совокупности они позволяют собирать и анализировать огромные массивы данных о состоянии почвы, растений, животных и окружающей среды, а затем применять их для автоматизации и оптимизации производственных процессов. Мировая практика показывает, что цифровизация сельского хозяйства обеспечивает многоплановый эффект: повышение урожайности, снижение затрат на воду, удобрения и пестициды, сокращение выбросов парниковых газов, улучшение качества продукции и рост конкурентоспособности агропредприятий. В США и странах Европейского союза активно развиваются платформы для цифрового

мониторинга агробизнеса; в Китае реализуются проекты по интеграции искусственного интеллекта и робототехники в крупные агропромышленные комплексы; в государствах Латинской Америки цифровизация способствует повышению устойчивости сельского хозяйства к климатическим рискам. Не менее важным аспектом является образовательная и научная составляющая цифрового сельского хозяйства. Университеты и исследовательские центры по всему миру формируют новые направления подготовки специалистов, сочетающие знания в области агробиотехнологий, инженерии, ИТ и анализа данных. Это позволяет создавать профессиональные кадры, способные разрабатывать и внедрять инновационные решения, обеспечивающие переход к «умным» агросистемам. Изучение мирового опыта внедрения цифровых технологий в аграрный сектор позволяет выявить наиболее эффективные практики, определить перспективные направления развития и сформировать рекомендации для совершенствования национальных агропромышленных комплексов.

Таблица 1 – Вызовы и перспективы цифрового сельского хозяйства в мире

№	Категория	Вызовы	Перспективы
1.	Технологические	Высокая стоимость оборудования, слабая инфраструктура, несовместимость систем	Массовое внедрение IoT, биосенсоров и цифровых двойников; удешевление технологий
2.	Кадровые	Дефицит специалистов на стыке агрономии, инженерии и ИТ	Подготовка кадров через университеты, программы переквалификации, международные стажировки
3.	Экономические	Недоступность цифровых решений для малых фермеров	Облачные сервисы, мобильные приложения, государственные субсидии
4.	Правовые	Проблемы защиты данных, интеллектуальной собственности	Разработка международных стандартов цифрового сельского хозяйства
5.	Социальные	Цифровое неравенство, низкая цифровая грамотность фермеров	Расширение цифрового образования, внедрение простых пользовательских интерфейсов
6.	Экологические	Потенциальная нагрузка от энергопотребления технологий	Использование «зелёной» энергетики, оптимизация ресурсов, снижение выбросов GHG

Обзор мирового опыта цифрового производства в сельском хозяйстве. Развитие цифрового сельского хозяйства стало глобальной тенденцией, охватывающей практически все регионы мира. Несмотря на различия в уровне технологического развития и ресурсного обеспечения, цифровизация аграрного сектора рассматривается как стратегический приоритет, обеспечивающий продовольственную безопасность, устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности национальных экономик [1].

США и Канада. В странах Северной Америки цифровое сельское хозяйство развивается наиболее интенсивно благодаря активному участию частного бизнеса, университетов и стартапов. Здесь широко применяются технологии точного земледелия: автоматизированные системы управления поливом, GPS-навигация, дроны для мониторинга посевов и роботизированные платформы для внесения удобрений и пестицидов. Крупные компании (John Deere, Corteva, Bayer Crop Science) активно внедряют программные комплексы для анализа больших данных и построения прогнозов урожайности. В университетах США создаются «цифровые фермы» – экспериментальные площадки, где тестируются инновации в области агробиотехнологий, искусственного интеллекта и робототехники.

Европейский союз. В Европе цифровизация сельского хозяйства увязана с программой «Зелёного курса» (European Green Deal), направленной на сокращение углеродного следа и повышение экологической устойчивости. В странах ЕС активно внедряются цифровые платформы для прослеживаемости продукции от поля до потребителя, биосенсоры для мониторинга здоровья животных, системы «умного» орошения и управления агроландшафтами. Важной особенностью европейского подхода является акцент на устойчивое развитие и биоэкономику, что выражается в развитии цифровых биотехнологических решений для снижения нагрузки на окружающую среду.

Китай и Восточная Азия. Китай занимает лидирующие позиции в области масштабного внедрения цифровых технологий в агропроизводство. Здесь применяются системы искусственного интеллекта для прогнозирования урожайности, роботизированные теплицы, автоматизированные фермы по производству молока и мяса, а также цифровые двойники агропроизводственных комплексов. Китайские компании активно развивают платформы для анализа данных на основе спутниковых и дроновых технологий, интегрируя их с государственными программами продовольственной безопасности. В Южной Корее и Японии цифровое сельское хозяйство развивается в направлении роботизации, автоматизированного животноводства и создания «умных ферм» для выращивания овощей в условиях урбанизированных территорий.

Латинская Америка. В странах Латинской Америки (Бразилия, Аргентина, Чили) цифровое сельское хозяйство активно внедряется для повышения устойчивости к климатическим изменениям и экстремальным погодным условиям. Используются дроны для мониторинга посевов, системы управления водными ресурсами, а также цифровые платформы для поддержки фермеров. В Бразилии активно развивается направление агробиотехнологий, связанное с интеграцией данных о генетике культур, состоянии почвы и климате.

Африка. В африканских странах цифровизация сельского хозяйства носит специфический характер и ориентирована на решение базовых задач продовольственной безопасности. Здесь востребованы мобильные приложения для фермеров, позволяющие получать информацию о погоде, ценах на рынке, доступных семенах и технологиях. Кроме того, международные организации (FAO, Всемирный банк, USAID) реализуют программы по внедрению цифровых инструментов для малых фермерских хозяйств, обеспечивая доступ к современным агротехнологиям.

Таблица 2 – Мировой опыт цифрового производства в сельском хозяйстве

№	Регион / страна	Основные технологии	Приоритетные направления	Особенности и результаты
1.	США и Канада	IoT, дроны, GPS-навигация, большие данные, робототехника	Точное земледелие, прогноз урожайности, автоматизация фермерских хозяйств	Высокая эффективность, развитый рынок агротехстартапов, активное участие университетов
2.	Европейский союз	Цифровые платформы, биосенсоры, умное орошение, блокчейн	Устойчивое развитие, экологизация, прослеживаемость продукции	Интеграция с «Зелёным курсом» ЕС, акцент на биоэкономику и снижение выбросов
3.	Китай	Искусственный интеллект, цифровые двойники, роботизированные теплицы	Крупные агропромышленные комплексы, продовольственная безопасность	Лидирующие позиции по масштабам внедрения, государственная поддержка
4.	Япония и Южная Корея	Робототехника, автоматизированное животноводство, «умные фермы»	Урбанизированное сельское хозяйство, инновации в пищевом производстве	Развитие вертикальных ферм и роботизированных систем для точного земледелия
5.	Латинская Америка (Бразилия, Аргентина, Чили)	Дроны, системы управления водными ресурсами, агробиоинформатика	Противодействие климатическим рискам, повышение урожайности	Активная интеграция климатических и генетических данных, развитие точного земледелия
6.	Африка	Мобильные приложения, дистанционное обучение фермеров, цифровые сервисы	Поддержка малых фермеров, базовая продовольственная безопасность	Международные программы FAO, Всемирного банка и USAID; фокус на доступности технологий

Международное сотрудничество и глобальные тренды. Общей тенденцией мирового развития цифрового сельского хозяйства является создание глобальных цифровых платформ и развитие сотрудничества университетов, исследовательских центров и частного сектора. Активно внедряются элементы интернета вещей, спутникового мониторинга, блокчейна и искусственного интеллекта. Эти технологии обеспечивают повышение эффективности агропроизводства, сокращение издержек, устойчивое использование ресурсов и формирование систем прослеживаемости продукции [2].

Вызовы и перспективы развития цифрового сельского хозяйства. Несмотря на значительные достижения, цифровое производство в сельском хозяйстве сталкивается с рядом вызовов, ограничивающих его широкое внедрение и эффективность [3].

Основные вызовы:

1. Технологические барьеры – высокая стоимость внедрения цифровых решений, необходимость в инфраструктуре (интернет-сети, энергообеспечение, оборудование), ограниченная совместимость различных систем и платформ.

2. Кадровый дефицит – нехватка специалистов, обладающих знаниями одновременно в агрономии, инженерии, ИТ и анализе данных; слабая подготовка фермеров к работе с цифровыми инструментами.

3. Экономические ограничения – низкая доступность технологий для малых и средних фермерских хозяйств, особенно в развивающихся странах.

4. Правовые и этические вопросы – защита персональных и производственных данных, вопросы интеллектуальной собственности и справедливого распределения выгод от цифровизации.

5. Социальные аспекты – риск цифрового неравенства между регионами и хозяйствами, необходимость адаптации работников к новым формам труда.

6. Экологические риски – чрезмерная зависимость от цифровых технологий может приводить к новым видам экологической нагрузки (например, энергопотребление дата-центров).

Цифровое производство в сельском хозяйстве представляет собой стратегическое направление развития мировой агропромышленности, определяющее будущее продовольственной безопасности и устойчивости агросистем. Анализ мирового опыта показывает, что внедрение цифровых технологий позволяет значительно повысить эффективность агропроизводства, снизить издержки, улучшить качество продукции и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Вместе с тем, распространение цифрового сельского хозяйства требует преодоления ряда вызовов, связанных с технологическими, экономическими, социальными и правовыми ограничениями. Решение этих проблем возможно

только при комплексном подходе, включающем государственную поддержку, активное участие университетов и научных центров, развитие индустриального партнерства и расширение международного сотрудничества.

Перспективы цифрового сельского хозяйства связаны с интеграцией искусственного интеллекта, робототехники, биотехнологий и интернета вещей в единые интеллектуальные платформы, способные адаптироваться к изменениям климата и глобальным вызовам. В долгосрочной перспективе цифровизация агросектора позволит не только повысить производительность и устойчивость сельского хозяйства, но и сформировать новые модели агробизнеса, ориентированные на инновации, экологичность и социальную ответственность [4].

Список литературы

- 1 Федоренко, В. Ф. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуков, Д.С. Буклагин, В.Я. Гольдяпин, И.Г. Голубев. – Москва: Росинформагротех, 2019. – 316 с.
- 2 Архипов, А. Г. Цифровая трансформация сельского хозяйства России / А.Г. Архипов, С.Н. Косогор, О.А. Моторин и др. – Москва: Росинформагротех, 2019. – 80 с.
- 3 Базарова, М. У. Цифровое сельское хозяйство: учебное пособие / М.У. Базарова, И.А. Билтуева. – Улан-Удэ: Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова, 2022. – 136 с.
- 4 Труфляк, Е. В. Цифровые технологии в сельском хозяйстве и городской среде: учебник для вузов / Е.В. Труфляк. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 448 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ АРМАТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ TRIMESH

Амандусов А.И., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе рассматривается комплексный подход к автоматизации проектирования технологии изготовления трубопроводной арматуры. Особое внимание уделяется применению библиотеки Trimesh для анализа 3D-геометрии деталей. Представлены практические решения по интеграции геометрического анализа в технологический процесс проектирования. Описаны методы автоматизированного определения технологических параметров.

Ключевые слова: САПР ТП, ASME, TRIMESH, проектирование 3D модели

Современная промышленная инфраструктура, включая нефтегазовый комплекс, энергетику и жилищно-коммунальное хозяйство, немыслима без разветвленных трубопроводных систем. Ключевым элементом их безопасности, надежности и эффективного функционирования является трубопроводная арматура, в частности, шаровые краны и запорные клапаны. Эти устройства отвечают за управление потоками рабочих сред, а их отказ может привести к серьезным экономическим и экологическим последствиям. В связи с этим к качеству, герметичности и долговечности данной продукции предъявляются исключительно высокие требования, регламентируемые как национальными (ГОСТ), так и международными (API, ASME) стандартами.

Проектирование технологии изготовления такой ответственной продукции традиционным способом представляет собой сложную, многоэтапную и трудоемкую задачу. Технолог должен разработать маршрутные и операционные карты, подобрать оборудование и оснастку, рассчитать режимы резания и нормы времени, что сопряжено с большими временными затратами и высоким риском возникновения ошибок. Эти ошибки, выявленные на этапе производства или, что хуже, эксплуатации, ведут к переделкам, браку, срыву сроков поставок и существенным финансовым потерям [1].

Шаровые краны, являясь ключевым элементом запорной трубопроводной арматуры, не могут проектироваться и производиться произвольно. Их надежность, безопасность и взаимозаменяемость обеспечиваются строгими требованиями, закрепленными в системе межгосударственных стандартов (ГОСТ). Знание этой нормативной базы является фундаментальным для любого

инженера, занимающегося автоматизированным проектированием технологии их изготовления.

Основополагающим документом выступает ГОСТ 3326-2016 «Краны шаровые для трубопроводов. Общие технические условия». Этот стандарт можно назвать «библией» разработчика и технолога. Стандарт устанавливает исчерпывающий перечень требований, предъявляемым к:

- конструкции кранов;
- материалам, применяемым для изготовления корпусных деталей, шара, седел и уплотнений;
- комплектности и маркировке;
- методам контроля и испытаний, включая обязательные приемосдаточные испытания на прочность и герметичность.

Любая автоматизированная система проектирования (САПР) должна быть настроена на соблюдение именно этих требований, так как они гарантируют безопасность эксплуатации изделия.

Следующий критически важный стандарт – ГОСТ 28343-94 (ИСО 7121-86) «Краны шаровые стальные полнопроходные. Основные размеры». Его главная задача – обеспечить взаимозаменяемость продукции. Данный стандарт регламентирует:

- присоединительные размеры фланцев;
- строительные длины кранов.

Не менее важен ГОСТ 9544-2015 «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов». Хотя распространяется на всю арматуру, для шарового крана герметичность – ключевой показатель качества. Стандарт определяет классы герметичности (например, высший класс «А» подразумевает полное отсутствие видимых утечек) и методики их контроля. Технолога, программируя операции шлифовки и притирки рабочих поверхностей шара и седел, должен ориентироваться на требования этого документа, чтобы гарантировать выход на заявленный класс.

Для унификации терминологии используется ГОСТ Р 52720-2007 «Арматура трубопроводная. Термины и определения». Это позволяет избежать разночтений в технической документации между конструкторами, технологами и производителями.

Аспекты безопасности всего жизненного цикла изделия регламентирует ГОСТ 12.2.063-2017 «Арматура трубопроводная. Требования безопасности».

Таким образом, система автоматизированного проектирования технологии изготовления трубопроводных арматур – это не просто инструмент для 3D-моделирования и написания УП для ЧПУ. Это сложная интегрированная среда, ядром которой должна быть база знаний, наполненная требованиями

вышеуказанных стандартов. Алгоритмы системы должны автоматически проверять геометрию на соответствие ГОСТ 28343, предлагать материалы и режимы обработки, отвечающие требованиям ГОСТ 3326, а технолог – задавать целевые классы герметичности по ГОСТ 9544. Только такой системный подход, основанный на глубоком знании нормативной базы, позволяет создавать конкурентоспособную, безопасную и надежную продукцию [2].

В рамках разработки системы автоматизированного проектирования технологии изготовления ключевую роль играет программный анализ трехмерных геометрических моделей [3]. Для решения этих задач эффективно применяется библиотека Trimesh – мощный инструмент для работы с полигональными сетками на языке Python, результат работы библиотеки изображен на рисунке 1.

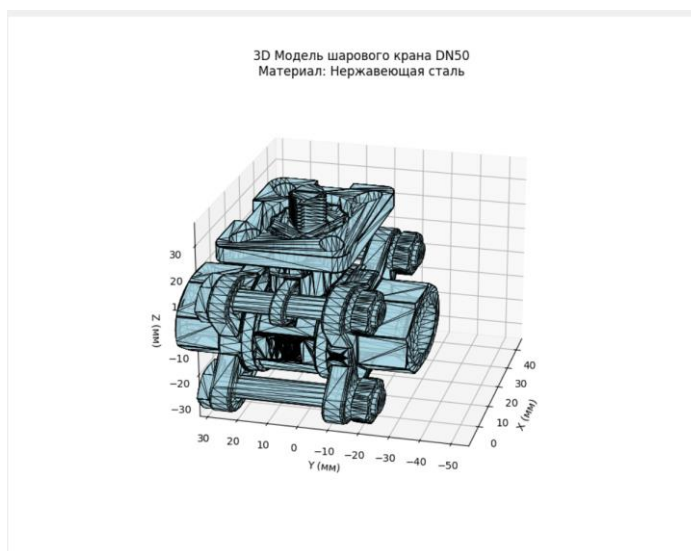


Рисунок 1 – Построение крана шарового при помощи trimesh

Возможности библиотеки для проектирования технологии производства:

- препроцессинг CAD-моделей;
- автоматический геометрический анализ;
- идентификация конструктивных элементов;
- генерация технологических данных.

При расчете моментов инерции и положения центра масс используют библиотеку trimesh. Ниже предоставлен пример кода для загрузки stl модели и разбиение ее на полигоны.

```
import trimesh
import numpy as np
# Анализ геометрии корпуса шарового крана
mesh = trimesh.load('body.stl')
```

```
volume = mesh.volume  
center_mass = mesh.center_mass  
inertia_tensor = mesh.moment_inertia  
# Определение главных осей инерции  
principal_axes = np.linalg.eigh(inertia_tensor) [1]
```

Внедрение системы автоматизированного проектирования технологии изготовления трубопроводной арматуры на основе интеграции CAD/CAE/CAM-модулей и специализированных библиотек анализа геометрии, таких как Trimesh, позволяет достичь значительного технологического и экономического эффекта. Автоматизация обработки 3D-моделей деталей (корпусов кранов, клапанов) обеспечивает сокращение времени проектирования, минимизацию человеческих ошибок и повышение обоснованности технологических решений. Использование математических методов анализа полигональных сеток для идентификации элементов конструкции, расчета оптимальных траекторий обработки и формирования управляющих программ создает основу для создания гибких и интеллектуальных систем технологической подготовки производства. Перспективным направлением развития является дальнейшая интеграция искусственного интеллекта для полной автоматизации принятия технологических решений.

Список литературы

- 1 Сосонкин, В. Л. Автоматизация технологического проектирования в машиностроении : учебное пособие / В. Л. Сосонкин, М. В. Брюхов. – Москва : Форум : Инфра-М, 2017. – 365 с. : ил. – ISBN 978-5-00091-674-2
- 2 ГОСТ 3326-2016. Краны шаровые для трубопроводов. Общие технические условия. – Введ. 2018-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 27 с.
- 3 Мартинес, С. Обзор применения аддитивных производственных технологий в технологическом инжиниринге / С. Мартинес, Дж. Ортега, А. Ламикиз // Журнал производственных процессов. – 2021. – Том 64. – Р. 152-171. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2021.01.027.

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН

**Арбапов С., Гурбанова М., Сапаров А., Аtdжанов Б.,
Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз, Туркменистан**

Аннотация. В условиях четвертой промышленной революции цифровое производство становится ключевым направлением развития мировой экономики. Цифровые технологии, включающие искусственный интеллект, интернет вещей, аддитивное производство, робототехнику и облачные вычисления, формируют новую модель организации производственных процессов, основанную на высокой степени автоматизации, интеграции данных и гибкости управления.

Ключевые слова: умные фабрики, автоматизация, роботизация, аддитивные технологии, искусственный интеллект, цифровая экономика.

Цифровое производство и технологии являются ключевыми элементами современной индустриальной революции, известной как Индустрия 4.0. В условиях глобальной цифровизации экономики производственные процессы трансформируются под влиянием внедрения современных информационных и коммуникационных технологий, робототехники, искусственного интеллекта и интернета вещей. Цифровизация позволяет не только автоматизировать традиционные производственные операции, но и создавать полностью интегрированные системы, способные самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и технологическим требованиям.

Современные цифровые технологии включают аддитивное производство (3D-печать), облачные вычисления, обработку больших данных, интеллектуальные системы мониторинга и управления, а также роботизацию всех стадий производственного процесса. Их интеграция в промышленные предприятия обеспечивает повышение точности, эффективности и гибкости производства, сокращение времени выхода продукции на рынок, оптимизацию затрат и ресурсов, а также минимизацию влияния человеческого фактора на производственные ошибки. Особое внимание уделяется созданию «умных фабрик» – полностью цифровизированных производственных комплексов, где все оборудование, системы и процессы взаимосвязаны и управляются на основе анализа данных в реальном времени. Такой подход позволяет прогнозировать поломки оборудования, управлять производственными потоками, адаптировать процессы под индивидуальные требования заказчиков и внедрять инновации с минимальными затратами времени и ресурсов. Подготовка квалифицированных кадров для цифрового производства также становится стратегическим аспектом развития. Со-

временные специалисты должны обладать знаниями в области программирования, анализа больших данных, робототехники, киберфизических систем и управления автоматизированными процессами. Международный опыт показывает, что страны, активно внедряющие цифровые технологии в производство и образование, получают значительные конкурентные преимущества, стимулируя инновационное развитие, экономический рост и повышение качества продукции.

Цифровое производство и технологии представляют собой не только инструмент модернизации промышленных процессов, но и стратегический фактор устойчивого развития экономики и технологической независимости государств. Изучение методов интеграции цифровых решений, оценки их эффективности и подготовки кадров для цифровой экономики становится ключевым направлением научных исследований и практических инноваций в современной индустрии [1].

Методы и исследования. Современные исследования в области цифрового производства ориентированы на комплексное изучение процессов автоматизации, роботизации, анализа больших данных и внедрения искусственного интеллекта в промышленные системы. Основными методологическими подходами являются системный анализ, моделирование производственных процессов, экспериментальные исследования, математическое моделирование и применение информационных технологий [2].

1. Системный и процессный подход. Системный подход позволяет рассматривать цифровое производство как интегрированную структуру, где все компоненты – оборудование, программное обеспечение, персонал, данные – взаимосвязаны. Процессный подход фокусируется на оптимизации конкретных производственных операций, выявлении узких мест, снижении времени цикла и повышении качества продукции. Эти методы применяются для создания цифровых двойников производственных линий, что позволяет тестировать изменения и прогнозировать результаты без остановки реального производства.

2. Математическое моделирование и симуляция. Математическое моделирование является ключевым инструментом для прогнозирования производственных показателей, оценки эффективности технологических решений и оптимизации ресурсов. Используются методы линейного и нелинейного программирования, статистические модели, имитационное моделирование и алгоритмы машинного обучения. Например, моделирование потоков материалов и ресурсов на предприятии позволяет выявлять узкие места, прогнозировать простои и оптимизировать логистику.

3. Анализ больших данных (Big Data). Цифровое производство генерирует огромные объемы данных с сенсоров, контроллеров, станков и программных систем. Исследования в этой области включают сбор, хранение, обработку и анализ

данных для принятия управленческих решений в реальном времени. Методы аналитики включают кластеризацию, прогнозную аналитику, нейронные сети и алгоритмы машинного обучения. Применение Big Data позволяет выявлять закономерности, оптимизировать производственные процессы и предсказывать технические сбои.

4. Интеграция искусственного интеллекта и роботизации. ИИ и роботизация исследуются как инструменты для автоматизации сложных операций, контроля качества и адаптивного управления производственными процессами. Используются алгоритмы компьютерного зрения, предиктивного обслуживания, интеллектуального планирования и саморегулирующихся систем. В научных исследованиях моделируются сценарии взаимодействия роботов и человека, оптимизируется распределение задач между автоматизированными и ручными операциями, повышается безопасность и эффективность производства.

5. Экспериментальные методы. Практическая проверка цифровых технологий проводится через пилотные проекты, внедрение прототипов и тестовые производственные линии. Эксперименты позволяют оценивать эффективность цифровых решений, выявлять проблемы интеграции, корректировать алгоритмы управления и обучать персонал. Результаты экспериментов служат основой для масштабного внедрения технологий на предприятиях.

6. Междисциплинарный подход. Исследования цифрового производства требуют объединения знаний из области инженерии, информационных технологий, экономики и управления. Такой подход обеспечивает комплексное понимание процессов, позволяет интегрировать новые технологии в существующие производственные системы и разрабатывать стратегии повышения конкурентоспособности предприятия [3].

Цифровое производство и современные технологии становятся основой новой промышленной революции, формируя высокоэффективные, гибкие и интеллектуальные производственные системы. Их внедрение позволяет не только автоматизировать традиционные процессы, но и создавать «умные фабрики», способные адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, оптимизировать использование ресурсов и ускорять вывод инновационной продукции на рынок.

Таблица 1

Основные направления цифрового производства и технологий

№	Направление цифрового производства	Основные технологии	Преимущества	Примеры применения
1.	Умные фабрики (Smart Factories)	Интеллектуальные системы управления, IoT, роботизация	Повышение эффективности, снижение простоев, адаптация к изменениям	Автомобильная промышленность, электроника
2.	Аддитивное производство (3D-печать)	3D-принтеры, материалы нового поколения	Быстрое прототипирование, индивидуализация продукции	Аэрокосмическая промышленность, медицина
3.	Роботизация производственных процессов	Промышленные роботы, коллаборативные роботы	Автоматизация рутинных операций, повышение точности	Сборка деталей, упаковка, логистика
4.	Обработка больших данных (Big Data)	Аналитические платформы, системы мониторинга	Прогнозирование спроса, оптимизация производства	Прогнозирование потребностей рынка, управление запасами
5.	Искусственный интеллект и машинное обучение	Алгоритмы ИИ, нейросети	Оптимизация процессов, принятие решений в реальном времени	Контроль качества, прогнозирование поломок оборудования
6.	Облачные вычисления (Cloud Computing)	Облачные платформы, цифровые двойники	Централизованное хранение данных, масштабируемость	Интеграция производственных линий, удалённый контроль
7.	Киберфизические системы	Сенсорные сети, автоматизированные контроллеры	Реальное время управления производственными процессами	Автоматизированные производственные комплексы

Особое значение имеет интеграция цифровых технологий с аналитикой больших данных, искусственным интеллектом, робототехникой и аддитивными технологиями, что обеспечивает прогнозирование, повышение качества продукции и снижение издержек. Параллельно возрастает роль подготовки квалифицированных кадров, обладающих навыками работы с цифровыми инструментами, что является критическим фактором для устойчивого развития промышленности и конкурентоспособности государств.

Анализ мирового опыта показывает, что страны, активно внедряющие цифровое производство, получают стратегические преимущества в технологическом развитии, стимулируют инновации и создают условия для долгосрочного экономического роста. Таким образом, цифровые технологии в производстве выступают не только как инструмент модернизации, но и как фактор формирования конкурентоспособной и устойчивой экономики будущего [4].

Список литературы

1 Котляр, И.В. Цифровое производство: теория и практика / И.В. Котляр. – М.: Наука, 2021. – 312 с.

2 Иванов, П.А. Индустрия 4.0: цифровизация промышленности / П.А. Иванов, А.В. Смирнов. – СПб.: Питер, 2020. – 256 с.

3 Петров, С.Н. Аддитивные технологии в производстве / С.Н. Петров. – М.: Машиностроение, 2019. – 184 с.

4 Баранов, В.К. Роботизация и автоматизация производственных процессов / В.К. Баранов. – М.: Энергоатомиздат, 2021. – 228 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ BLENDER ПРОЦЕДУРНОЙ СТИЛИЗАЦИИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GEOMETRY NODES: АРХИТЕКТУРА, РЕАЛИЗАЦИЯ, ИНТЕГРАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Архипова Н.А., кандидат искусствоведения,
МИРЭА – Российский технологический университет, Московский международный университет, город Москва

Аннотация: в статье представлен комплексный анализ, архитектура и опыт реализации программного модуля для Blender, предназначенного для процедурной стилизации текста на базе системы Geometry Nodes, а также описывается интеграция данного модуля с веб-приложением на платформе Java и Docker, проведена оценка вычислительной, емкостной и экономической эффективности.

Ключевые слова: *процедурная стилизация текста, Blender, Geometry Nodes, веб-интеграция, контейнеризация Docker.*

В данной статье рассмотрен проект выпускной квалификационной работы студентки РТУ «МИРЭА» Цветковой Эрики Андреевны, кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения, под научным руководством доцента, кандидата искусствоведения Архиповой Натальи Андреевны.

В современных информационно-технологических и креативных индустриях средства процедурного моделирования становятся критически важными инструментами для оптимизации производственных процессов в задачах генерации визуального контента. Одним из наиболее востребованных направлений на стыке 3D-графики и автоматизации выступает процедурная стилизация текста – технология, позволяющая гибко и быстро формировать стилизованные текстовые объекты посредством параметрического управления и автоматизированных шаблонов, что особенно ценно для задач анимации, инфографики, AR/VR и геймдева. Программный пакет Blender, как открытая платформа 3D-моделирования, предоставляет современные механизмы процедурного моделирования на базе Geometry Nodes, однако специализированные средства для интерактивной стилизации текстовых объектов посредством данного инструментария в настоящее время ограничены.

В связи с этим, актуальной задачей исследовательского и разработческого характера становится проектирование, реализация и внедрение универсального программного модуля для Blender, который обеспечивал бы пользователям функциональный интерфейс создания стилизованного 3D-текста с широкой поддержкой пресетов, адаптацией под современные движки визуализации (Cycles/Eevee), интеграцией пользовательских шрифтов, экспортом результатов

и возможностью демонстрации функционала через ассоциированное веб-приложение. Кроме того, при разработке подобного ПО существенное значение приобретает полноценный цикл жизненного сопровождения, включающий тестирование, виртуализацию, контейнеризацию и экономическую оценку эффективности разработки и эксплуатации.

В ходе анализа современного состояния вопроса были подвергнуты сравнению наиболее актуальные расширения для Blender, такие как Simple Text Addon, Text Improver V1.0, Logonodix. Критериями оценки послужили: поддержка Geometry Nodes и современных версий Blender, наличие пресетов, возможностей анимации, импорт шрифтов, работа с разными движками визуализации, поддержка 2D SVG-файлов, гибкость параметров, процедурная генерация текстур, возможность веб-демонстрации. Из анализа вытекает, что существующие модули реализуют лишь часть необходимой функциональности: возможность анимации представлена не у всех решений, импорт шрифтов и поддержка SVG реализованы частично, а систем процедурной генерации текстур и удаленного доступа функционалу пока не представлено. Таким образом, наличие функциональных лакун и технологических разрывов обуславливает потребность в системном подходе к проектированию нового модуля.

В основе архитектурного решения лежит декомпозиция жизненного цикла разработки – от формирования требований и проектирования до тестирования, развертывания и эксплуатации. Ключевые структурные компоненты архитектуры:

1. Программный модуль для Blender.

- функциональный UI для настройки параметров стилизации (выбор шрифта, ввод текста, применяемый пресет, настройка параметров – интервала, толщины контуров, материалов и т.д.);
- использование Geometry Nodes для процедурной генерации 3D-текстовых объектов, включая операции преобразования кривых, экструзии, наложения текстур, автоматизации анимации букв и т.д.;
- интеграция шаблонных (presets, более 10 вариантов), реализуемых через нодовые группы;
- поддержка произвольных пользовательских шрифтов;
- применение процедурной генерации текстур и материалов;
- возможность экспорта конечного объекта или рендера.

2. Веб-приложение для демонстрации и скачивания.

- реализовано средствами Java Spring и Docker-контейнеризации, с использованием PostgreSQL в качестве баз данных;
- механизмы демонстрации функциональности модуля через видео, инструкции, скриншоты и т.д.;

- контроль доступа, регистрация, профиль пользователя, сбор и анализ статистики скачиваний;

- административная панель для управления пользователями и обратной связью.

3. Интеграционные и сопутствующие компоненты.

- система виртуализации и контейнеризации (Docker), обеспечивающая удобство развертывания и масштабируемость решения;

- инфраструктурная поддержка хоста (onrender.com);

- данная архитектура позволяет реализовать замкнутый цикл цифрового решения – от опытного тестирования до продуктивной эксплуатации в промышленных условиях;

- ключевые этапы реализации;

- технологический стек;

- программный модуль реализован средствами Blender 3.0/4.1+ с опорой на встроенную инфраструктуру Geometry Nodes. Для создания веб-приложения выбраны Java Spring, Maven, докеризация, PostgreSQL.

Модель жизненного цикла, начиная от планирования и заканчивая эксплуатацией программного продукта (рисунок 1).

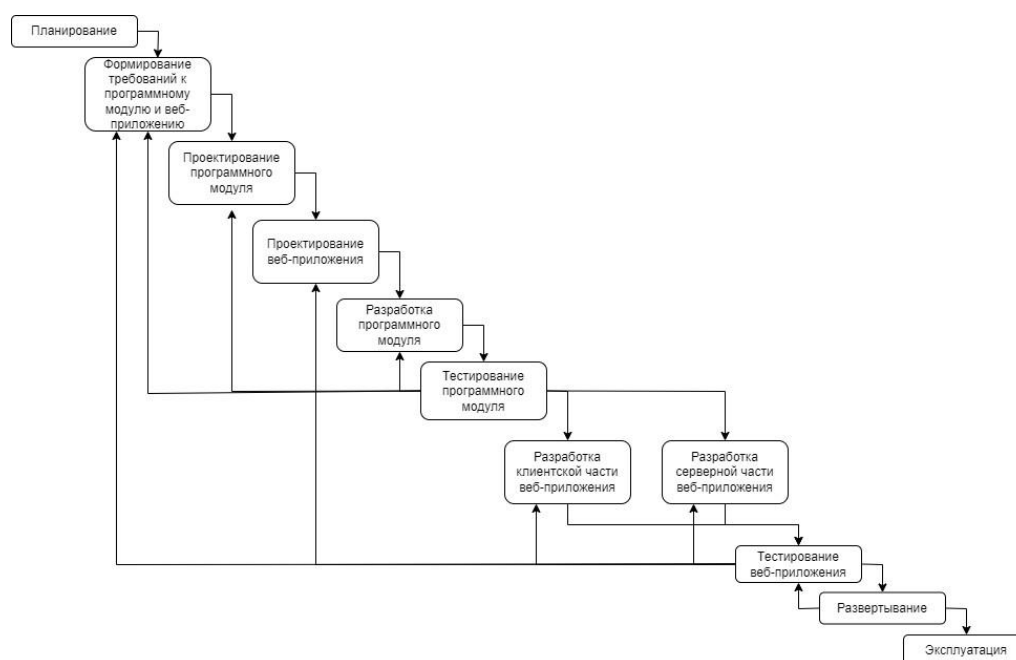


Рисунок 1 – Адаптированная каскадная модель жизненного цикла

В ядре программного модуля заложена группа нод: преобразование текста в набор кривых с последующим заполнением и экструзией, параметризация межсимвольных, межсловных и межстрочных интервалов, оформление материалов, добавление эффектов на уровне отдельных кривых и групп. Система реализует гибкую пресетную структуру (Simple, Wave, Bubble, Motion, Laser, Typing,

Round, Squash, Slime, Multilayer и др.), каждая из которых определяет специфическую конфигурацию нод и материалов, формирующих уникальную стилизацию. Реализована поддержка импорта шрифтов TTF/OTF, кастомизации параметров каждого эффекта.

Веб-приложение функционирует в парадигме клиент-сервер, включает секции: демонстрация, скачивание, обучение, профиль пользователя, сбор обратной связи и админпанель. В качестве методов обеспечения интеграции выбраны REST API и взаимодействие с базой данных через ORM (Entity, Repository, Service). Контейнеризация проекта позволяет реализовать независимость от платформы и автоматизацию деплоя (рисунок 2).

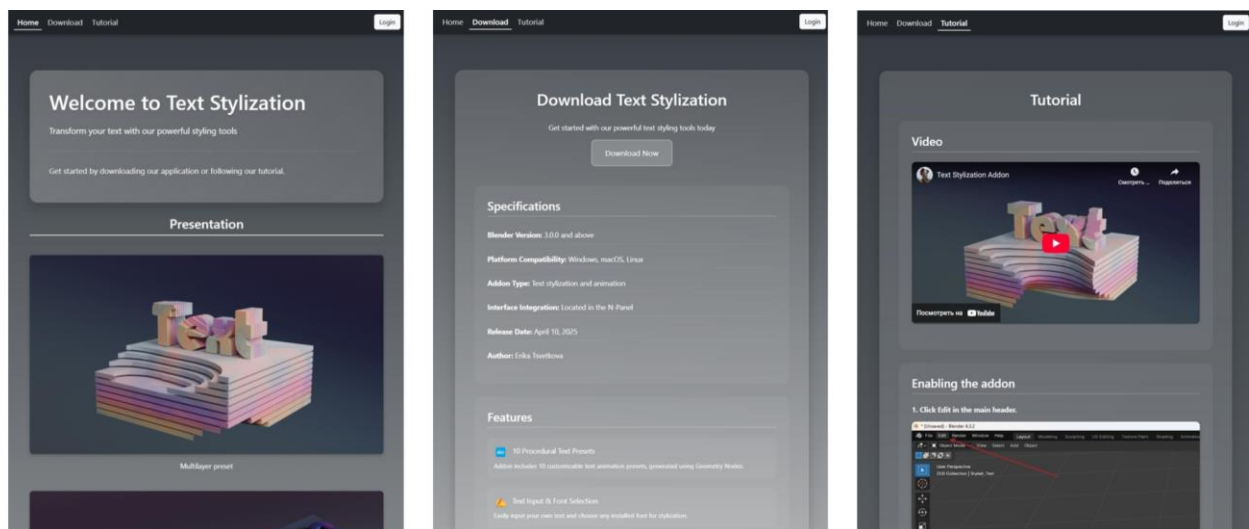


Рисунок 2 – Дизайн веб-приложения

Предусмотрено двойное тестирование: функционально-модульное (внутри Blender) и интеграционное (инфраструктура веб-приложения). Особое внимание уделяется вопросам производительности (скорость построения 3D-текста, задержка в анимациях, объем занимаемой памяти) и отказоустойчивости (работа при некорректных входных данных, устойчивость к ошибкам сети и т.п.).

Расчёт вычислительной сложности модуля определяется количеством операций преобразования (String-to-Curve, Fill, Mesh Transformation), количеством и размерностью пресетов, а также характеристиками аппаратной среды пользователя. В тестовых замерах получено: среднее время формирования стилизованного объекта – 1.2 сек (указывая на приемлемый уровень интерактивности для 90% пользовательских сценариев).

Емкостная сложность складывается из: объёма хранимых пресетов, пользовательских материалов и графовой структуры нод. Среднее потребление оперативной памяти не превышает 80 МБ для большинства пресетов, позволяя эксплуатировать модуль даже на среднеконфигурируемых ПК.

Экономическая оценка проекта показывает, что наибольшую долю затрат составляет основная заработная плата (58,51 %) и страховые взносы (21,2 %). Совокупный бюджет проекта – 164 271,51 руб. – делает подобный проект высокоэффективным с позиции окупаемости и сравнительного анализа стоимости с уже доступными западными или отечественными решениями, обладающими схожей функциональностью.

Реализация программного модуля для Blender процедурной стилизации текста на основе Geometry Nodes принципиально расширяет спектр цифровых инструментов российской и международной ИТ-индустрии, обеспечивая креативное сообщество гибким и масштабируемым решением для генерации стилизованного текста в формате 3D-графики с возможностью дальнейших модификаций и адаптаций под профессиональные задачи. Модуль сочетает современную архитектуру, высокий уровень пользовательской кастомизации, технологические ноу-хау в части процедурной генерации и промышленную интеграцию посредством веб-приложения и контейнеризации. Проведённый анализ наглядно демонстрирует не только технологическую, но и экономическую состоятельность проекта.

Полученные результаты и внедрение разработанного решения позволяют утверждать, что системная интеграция процедурного моделирования, визуального программирования (Geometry Nodes) и технологий распределённых веб-приложений открывает новые перспективы для автоматизации креативной индустрии, создавая фундамент для дальнейших исследований и расширения функциональной базы подобных модулей. Расширение линейки пресетов, внедрение поддержки машинного обучения для автоматической генерации эффектов и интеграция с облачными системами визуализации представляются наиболее перспективными векторами последующих исследований и разработок.

Список литературы

- 1 Blender Foundation. Blender [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.blender.org/> (дата обращения: 20.02.2025).
- 2 Blender Foundation. Geometry Nodes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.blender.org/features/geometry-nodes/> (дата обращения: 20.02.2025).
- 3 Docker Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 25.02.2025).

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ТУРКМЕНИСТАНЕ: ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Гурбанова М., Беглиев В., Бабаева С., Непесов Д.
Туркменский сельскохозяйственный институт, город Дашогуз

Аннотация: анализируются ключевые технологии и инструменты цифровизации промышленности, включая автоматизацию процессов, использование интернета вещей (IoT), робототехники, больших данных и цифровых двойников. Особое внимание уделяется влиянию цифрового производства на повышение эффективности предприятий, оптимизацию ресурсов и улучшение качества продукции.

Ключевые слова: промышленная автоматизация, интернет вещей, робототехника, цифровая экономика, инновационные технологии, подготовка кадров.

Современное промышленное производство в мире переживает масштабную цифровую трансформацию, охватывающую все отрасли экономики. Цифровизация становится неотъемлемым элементом стратегии устойчивого развития, позволяя предприятиям повышать эффективность, снижать издержки, оптимизировать использование ресурсов и улучшать качество продукции. В этом контексте Туркменистан, ориентируясь на инновационные подходы и развитие национальной экономики, активно внедряет цифровые технологии в производственные процессы.

Цифровое производство включает широкий спектр технологий: автоматизированные системы управления, интернет вещей (IoT), робототехнику, большие данные (Big Data), искусственный интеллект, цифровые двойники производственных объектов и системы мониторинга. Совокупность этих инструментов позволяет предприятиям не только оптимизировать технологические процессы, но и прогнозировать возможные риски, адаптироваться к изменению спроса и совершенствовать процессы управления. Особое значение имеет государственная поддержка цифровизации, развитие нормативной базы и создание инфраструктуры, обеспечивающей внедрение передовых технологий. Кроме того, ключевым фактором успешного цифрового производства является подготовка квалифицированных кадров, способных работать с современными системами автоматизации, анализировать данные и внедрять инновации. В Туркменистане образовательные учреждения и научные центры постепенно интегрируют программы подготовки специалистов, сочетающие знания в области инженерии, ИТ и управления производственными процессами. Мировой опыт показывает, что цифровизация промышленности способствует не только экономическому росту,

но и повышению конкурентоспособности страны на международной арене. Внедрение цифровых технологий в Туркменистане открывает возможности для модернизации традиционных отраслей, создания инновационных производственных кластеров и формирования устойчивой цифровой экономики [1].

Исследование цифрового производства в Туркменистане является актуальным и своевременным, так как позволяет оценить текущее состояние отрасли, выявить перспективные направления внедрения технологий и определить стратегические шаги для подготовки кадров и совершенствования национальной промышленной инфраструктуры:

1. Методы и исследования цифрового производства. Цифровое производство в Туркменистане развивается на основе внедрения современных технологий и методов анализа данных. Среди ключевых методов выделяются:

- автоматизация процессов – использование программно-аппаратных комплексов для управления производственными операциями, контроля качества и логистики;
- большие данные (Big Data) и аналитика – сбор, обработка и анализ больших объемов информации для прогнозирования спроса, оптимизации ресурсов и планирования производственных процессов;
- робототехника и автоматизированные линии – внедрение промышленных роботов для выполнения повторяющихся операций, повышение точности и сокращение трудозатрат;
- цифровые двойники – моделирование производственных объектов и процессов в виртуальной среде для тестирования инноваций, выявления проблем и повышения эффективности.

Научные исследования в этой области включают анализ мирового опыта, оценку технологической готовности предприятий, разработку методических рекомендаций по внедрению цифровых систем и адаптацию современных инструментов к национальным условиям Туркменистана [2].

2. Практическое применение цифровых технологий. Цифровые технологии уже применяются на ряде предприятий Туркменистана в таких сферах, как:

- энергетика и нефтегазовая промышленность – автоматизированный мониторинг оборудования, прогнозирование потребления ресурсов и контроль производственных процессов;
- пищевая и перерабатывающая промышленность – цифровой контроль качества, оптимизация технологических линий и управление складскими запасами;
- машиностроение и металлургия – применение робототехники и цифровых двойников для повышения производительности и сокращения брака;

- строительство и инфраструктура – использование информационных моделей объектов (BIM), цифровой мониторинг процессов и управление ресурсами.

3. Подготовка кадров для цифрового производства. Успешная цифровизация невозможна без квалифицированных специалистов. В Туркменистане развивается система подготовки кадров, включающая:

- высшее образование – программы в области инженерии, информационных технологий, автоматизации и робототехники;
- повышение квалификации и курсы переподготовки – обучение действующих специалистов работе с цифровыми инструментами и современным программным обеспечением;
- международное сотрудничество – стажировки, обмен опытом с зарубежными университетами и участие в глобальных проектах;
- научно-исследовательские центры и лаборатории – создание экспериментальных площадок для тестирования цифровых технологий и практического обучения студентов.

Такой комплексный подход обеспечивает формирование кадрового потенциала, необходимого для успешного внедрения цифровых технологий и развития инновационной экономики страны [3].

Цифровое производство в Туркменистане становится ключевым направлением развития промышленности и национальной экономики. Внедрение современных технологий – автоматизации, интернета вещей, робототехники, больших данных и цифровых двойников – позволяет предприятиям повышать производительность, оптимизировать ресурсы и улучшать качество продукции. Особое значение имеет подготовка квалифицированных кадров: специалисты, обладающие знаниями в области инженерии, информационных технологий и анализа данных, являются критически важными для успешной цифровизации предприятий. Государственная поддержка, развитие образовательных программ и международное сотрудничество обеспечивают формирование профессиональной базы, необходимой для устойчивого развития цифровой экономики.

Цифровое производство в Туркменистане не только повышает конкурентоспособность национальных предприятий, но и формирует основу для инновационной экономики, способной эффективно интегрироваться в глобальные технологические процессы [4].

Список литературы

- 1 Иванов, И. П. Цифровое производство: теория и практика / И.П. Иванов. – М.: Инфра-М, 2020. – 312 с.

2 Петров, С. А. Индустрия 4.0 и цифровизация производства / С.А. Петров, А.В. Сидоров. – СПб.: Питер, 2019. – 256 с.

3 Гурьев, А. Л. Информационные технологии в промышленности / А.Л. Гурьев, М.Н. Ковалев. – М.: Наука, 2021. – 384 с.

4 Шевченко, В. И. Робототехника и автоматизация производственных процессов / В.И. Шевченко. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 298 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЙ: МЕТОДЫ, ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ

Фадеев Д.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)», город Москва
Бахрачева Ю.С., канд. техн. наук, доцент**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Волгоградский государственный университет», город Волгоград

Аннотация: в статье рассматриваются классические и современные математические модели прогнозирования эпидемий, включая SIR, SEIR и их модификации. Показаны принципы их построения, возможности и ограничения применения. Проведён сравнительный анализ, позволяющий определить оптимальные подходы для моделирования и прогноза распространения инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: математические модели эпидемий, гибридные модели, сравнительный анализ, статистические данные, машинное обучение

Эпидемии инфекционных болезней всегда были серьёзной проблемой для общества. Они влияют на здоровье людей, экономику и жизнь в целом. В условиях глобализации инфекции распространяются быстрее, чем раньше, поэтому задача их прогнозирования становится особенно важной.

Математические модели помогают описывать, как болезнь передаётся, как меняется число заболевших и что будет дальше. С их помощью можно оценивать, какие меры работают лучше, и строить прогнозы развития эпидемии. Первая известная модель такого типа – SIR-модель Кермака и Маккендрика, предложенная в 1927 году. Позже появились её расширения и новые подходы, включая стохастические, сетевые и агентные модели, а также методы машинного обучения. В работе сравниваются основные математические модели прогнозирования эпидемий, показаны их сильные и слабые стороны и проводится оценка возможности их применения в разных условиях [1 – 6].

Математическое моделирование эпидемий начало активно развиваться в первой половине XX века. Классическая работа Кермака и Маккендрика [1] (1927) предложила простую модель SIR, которая до сих пор используется как основа для анализа динамики инфекций. Эта модель стала отправной точкой для множества модификаций, учитывающих разные факторы.

Позднее исследователи расширили SIR, добавив новые группы населения. Так появилась SEIR-модель, в которой учтён скрытый инкубационный период. Её активно применяли для анализа эпидемий гриппа и COVID-19. SIS-модель используется для инфекций, при которых иммунитет не сохраняется, например для респираторных заболеваний.

В конце XX века появились стохастические и сетевые модели, которые учитывают случайность заражений и структуру контактов. В XXI веке активно развиваются агентные подходы, где каждый человек моделируется отдельно, что повышает реалистичность, но требует больших вычислительных ресурсов.

С недавних пор важную роль играют методы машинного обучения и статистического анализа временных рядов. Они позволяют строить прогнозы на основе больших массивов данных, хотя и уступают классическим моделям в объяснении внутренних механизмов распространения болезни.

Таким образом, литература показывает постепенный переход от простых детерминистических уравнений к более сложным гибридным моделям, которые совмещают традиционный математический аппарат и современные методы анализа данных.

Методология

Математические модели строятся как системы ОДУ, описывающие переходы между компартментами. Ниже величины S, E, I, R трактуются как доли населения, то есть $S + E + I + R = 1$. Тогда деление на N в терминах контактов не требуется. Если работать с абсолютными численностями, в уравнениях нужно использовать множитель $1/N$.

Модель SIR [1]:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad (1)$$

здесь β скорость передачи инфекции, γ скорость выздоровления. Базовое репродуктивное число $R_0 = \beta/\gamma$.

Модель SIS [3]:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI + \gamma I, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I, \quad (2)$$

здесь иммунитет не формируется, выздоровевшие возвращаются в S .

Модель SEIR:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI, \quad \frac{dE}{dt} = \beta SI - \sigma E, \quad \frac{dI}{dt} = \sigma E - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad (3)$$

здесь параметр σ скорость выхода из латентной стадии.

Расширения с демографией (пример для SIR):

$$\frac{dS}{dt} = \mu - \beta SI - \mu S, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I - \mu I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R, \quad (4)$$

здесь μ рождаемость и смертность при стационарной популяции.

Стохастические модели – это те же SIR или SEIR, только с элементом случайности. Вместо «точного» числа заражённых и выздоровевших в уравнениях используют вероятности событий. Например, что за короткий промежуток времени один человек заразится или выздоровеет. Такие модели нужны для небольших групп или начала эпидемии, где случайность сильно влияет на результат. В больших популяциях их поведение почти совпадает с обычными (детерминированными) моделями.

Сетевые модели – популяция задается графом контактов. Инфекция передается по ребрам с вероятностью, зависящей от структуры сети. Динамика чувствительна к степени узлов и кластерности. Агентные модели – каждый агент имеет состояние, поведение и правила контактов. Переходы реализуются дискретно во времени или по событиям. Учитываются возраст, мобильность, соблюдение мер. Модели на данных и ML – статистические и ML подходы для прогноза временных рядов заболеваемости, например ARIMA, Prophet, LSTM, градиентный бустинг.

Сравнительный анализ

Разные математические модели эпидемий отражают разные стороны инфекционного процесса. Простые модели, такие как SIR и SIS, удобны для анализа основных закономерностей и позволяют оценить ключевые параметры вроде базового репродуктивного числа R_0 . Они просты в применении, но не учитывают инкубационный период, неоднородность контактов и демографические факторы.

Модели типа SEIR добавляют скрытый период болезни и дают более реалистичное описание динамики для инфекций с инкубацией. Их преимущество в точности, но недостаток в усложнении структуры и необходимости дополнительных данных для параметров.

Стохастические модели важны для малых популяций и начальных фаз эпидемий, но требуют множества симуляций и трудны в интерпретации. Сетевые модели учитывают социальные и транспортные связи, делая прогноз точнее, однако нуждаются в данных о контактах. Агентные модели дают наибольшую гиб-

кость и позволяют анализировать меры вмешательства, но требуют значительных вычислительных ресурсов. Современные методы машинного обучения позволяют строить прогнозы заболеваемости на основе данных, часто с высокой точностью. Их преимущество – работа с большими массивами информации. Основной минус – слабая интерпретируемость и зависимость от качества данных.

Таким образом, выбор модели зависит от цели исследования. Для теоретических оценок подойдут простые SIR или SEIR-модели. Для анализа малых групп или редких событий нужны стохастические версии. Для прогноза в реальной популяции полезны сетевые и агентные модели. Для краткосрочных прогнозов на основе данных эффективны методы машинного обучения.

Пример применения

Для проверки работоспособности моделей был проведён эксперимент с использованием синтетических данных. В качестве «истинного» процесса выбрана SEIR-модель с заданными параметрами, которая сгенерировала динамику числа инфицированных на горизонте 120 дней. Полученные данные были разделены на обучающую и тестовую выборки. Первые 70 дней использовались для калибровки параметров, оставшийся период – для проверки прогноза. Для каждой модели был выполнен подбор параметров по сетке с минимизацией ошибки RMSE на обучающей части. Далее каждая модель строила прогноз на тестовом промежутке, и ошибка оценивалась по RMSE. Такой подход позволил объективно сравнить эффективность разных моделей в одинаковых условиях.

Результаты показали, что лучшие три модели по качеству прогноза совпали с истинной кривой наиболее близко. На итоговом графике представлена динамика числа инфицированных: истинная SEIR-кривая и траектории трёх лучших моделей по значению RMSE на тесте. Эти модели наиболее точно воспроизвели характер роста и снижения эпидемии, как представлено на рисунке 1.

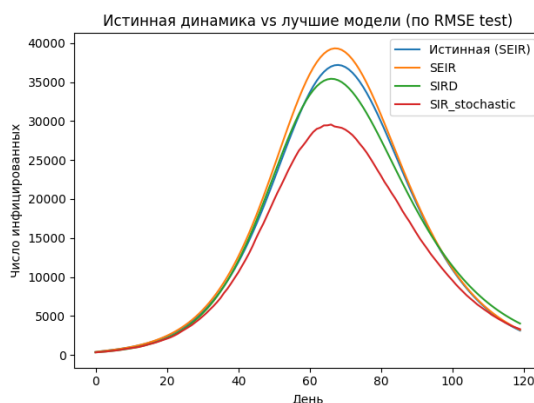


Рисунок 1 – Сравнение динамики числа инфицированных

Таким образом, практическое применение моделей подтверждает, что даже относительно простые структуры при правильной настройке параметров могут давать точные прогнозы *динамики заболеваемости*.

Заключение

Проведённое сравнение показало, что среди протестированных подходов наилучшие результаты по RMSE продемонстрировали эпидемиологические модели SEIR и SIRD. Они наиболее близко воспроизвели «истинную» динамику, так как учитывают ключевые механизмы эпидемического процесса. Стохастический и метапопуляционный варианты также показали приемлемую точность, подтверждая ценность расширений базовых моделей. В то же время простая ML – модель AR(2) оказалась слабее. Её прогноз оказался хуже из-за линейной структуры и отсутствия учёта биологических особенностей инфекции. Это указывает, что для задач эпидемиологии простых статистических методов недостаточно, и требуется либо использование более сложных алгоритмов машинного обучения, либо их сочетание с классическими моделями.

Таким образом, результаты подтверждают: выбор модели зависит от целей. Для интерпретируемого анализа и долгосрочного прогноза эффективнее использовать модели семейства SEIR. Для сценарных экспериментов полезны сетевые и стохастические версии. Методы машинного обучения целесообразны при работе с реальными данными, но в связке с эпидемиологическими моделями.

Список литературы

- 1 Kermack, W. O. A contribution to the mathematical theory of epidemics / W. O. Kermack, A. G. McKendrick // *Proceedings of the Royal Society A*. – 1927. – Vol. 115. – P. 700–721.
- 2 Hethcote, H. W. The mathematics of infectious diseases / H.W. Hethcote // *SIAM Review*. – 2000. – Vol. 42, № 4. – P. 599–653.
- 3 Anderson, R. M. Infectious diseases of humans: dynamics and control / R.M. Anderson, R.M. May. – Oxford : Oxford University Press, 1991. – 757 p.
- 4 Bailey, N. T. J. The mathematical theory of infectious diseases and its applications / N. T. J. Bailey. – 2nd ed. – London : Charles Griffin, 1975. – 413 p.
- 5 Keeling, M. J. Networks and epidemic models / M. J. Keeling, K. T. D. Eames // *Journal of the Royal Society Interface*. – 2005. – Vol. 2, № 4. – P. 295–307.
- 6 Ferguson, N. M. Strategies for mitigating an influenza pandemic / N. M. Ferguson [et al.] // *Nature*. – 2006. – Vol. 442. – P. 448–452.

ТРЕНДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПЕРЕХОД К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Белоновская И.Д., д-р пед. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Сазонова Т.В., канд. техн. наук, доцент

Кумертауский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: статья посвящена анализу современных вызовов и ключевых направлений подготовки инженерных кадров в контексте перехода к шестому технологическому укладу (Индустрия 4.0 и Индустрия 5.0). На основе анализа отечественных и зарубежных исследований выделены системные особенности, обусловленные необходимостью обеспечения технологического суверенитета, преодоления кадрового дефицита и интеграции новых компетенций. Особое внимание уделяется изменению парадигмы взаимодействия между вузами и бизнес-структурами как ключевому условию формирования инженера новой формации.

Ключевые слова: инженерное образование, технологический уклад, тренды инженерного образования, технологический суверенитет, компетенции, цифровизация, взаимодействие вуза и бизнеса.

Современный период развития экономики признан этапом перехода к новому, шестому технологическому укладу. Этот процесс влечёт за собой трансформацию традиционных производственных процессов и бизнес-моделей, открывая новые возможности для повышения качества жизни и развития человеческого потенциала. Формирование новой технологической реальности, находящейся на стыке принципов Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, сопровождается значительным усложнением технологических процессов, масштабной автоматизацией производства и внедрением интегрированных систем управления. Знания и образование приобретают характер ключевой производительной силы.

В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, в текущий период необходимо обеспечить преобразование науки и технологий в основной фактор развития страны, способный эффективно реагировать на глобальные вызовы. Центральной фигурой этого перехода становится профессиональный инженер, который выступает одновременно субъектом, носителем и производителем новых технологических решений. Производ-

ство, распространение и воспроизводство знаний превращаются в основной источник экономического роста, формируя новый социальный заказ на подготовку инженерных кадров.

Воздействие нового технологического уклада на инженерное образование прослеживается в материалах научных публикаций, диссертационных исследований и международных конференций, например [1, 2]. Анализ источников показывает, что в условиях четвёртой промышленной революции происходит интеграция науки, индустрии и бизнеса, а технологии проникают во все сферы человеческой деятельности. Непосредственное влияние на подготовку инженеров выражается в необходимости формирования компетенций, связанных с массовым применением «критических» технологий, развитием технологического предпринимательства и становлением высокотехнологичного бизнеса.

К началу XXI века влияние технологий Индустрии 4.0 и формирующиеся контуры Индустрии 5.0 стали оказывать определяющее воздействие на производство, экономику и общество. В инженерной терминологии это отразилось в эволюции понятий: традиционное представление о «машине» сменилось терминем «техническая система», который вскоре трансформировался в более комплексное понятие «производственно-технологическая система» (ПТС). ПТС представляет собой многофункциональный объект техносферы, характеризующийся высоким уровнем автоматизации всех этапов жизненного цикла – от проектирования и изготовления до контроля, сбыта, мониторинга и послепродажного обслуживания.

Современное производство приобретает черты роботизированности, индивидуализации, децентрализации и приближения к конечному потребителю. В этой связи интеграция ключевых технологий Индустрии 4.0 в учебные дисциплины и практики подготовки инженеров требует не только сотрудничества с промышленными предприятиями, но и активного вовлечения высокотехнологичного бизнеса, заинтересованного в укреплении своих рыночных позиций.

Переход к новому технологическому укладу определяет основные направления трансформации подготовки инженерных кадров, обусловленные следующими факторами:

- потребностью страны в обеспечении технологического суверенитета;
- дефицитом инженерных кадров в ключевых отраслях отечественной экономики;
- внедрением сквозной цифровизации и персонализации социальных и производственных процессов;
- повышением требований работодателей к адаптивности выпускников вузов к инновациям технологий, техники, организации и бизнес-процессов в промышленности.

Новое время определило ответы инженерного образования на вызовы переходов индустрии 4.0/5.0:

- ориентация содержания образования на проблемы обеспечения технологического суверенитета и лидерства;
- расширение госбюджетной поддержки для массовизации инженерного образования как ответ на растущий дефицит инженерных кадров;
- комплексная цифровизация и растущая персонализация образовательных траекторий подготовки будущих инженеров во взаимодействии с производством и бизнесом;
- обновление профессиональных и образовательных стандартов с учётом требований к инновационно-технологическим, управленческим и предпринимательским компетенциям инженеров для коммерциализации продукции и технологий;
- взаимодействие вузов с реальным сектором экономики.

Некоторые из названных процессов становятся ключевыми трендами развития инженерного образования. Так, потребность в инженерах для наукоёмких производств и высокотехнологичного бизнеса растёт опережающими темпами, в том числе в регионах [3]. В результате системный характер приобретает опережающая подготовка, основанная на прогнозировании потребностей перспективных специальностей и заблаговременном внедрении соответствующих компетенций в образовательные программы.

Тренды цифровизации и персонализации реализованы в проектировании образовательных траекторий и индивидуальных образовательных маршрутов подготовки будущих инженеров. Внедрение концепции CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate) нацелено на погружение студентов в полный жизненный цикл создания инженерного продукта [4]. Персонализация позволяет формировать индивидуальные траектории развития, ориентированные на конкретные запросы рынка и личные компетенции студента.

Ключевым трендом является гармонизация федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС ВО) с профессиональными стандартами. Программы дополняются инновационно-технологическими, управленческими и предпринимательскими компетенциями, необходимыми для коммерциализации разработок и старта успешной профессиональной карьеры в условиях технологического бизнеса.

Обеспечение технологического суверенитета исторически являлось стратегическим приоритетом отечественной инженерной школы, определяя её уникальность и обеспечивая лидерские позиции в естественнонаучных дисциплинах, таких как математика и физика, что непосредственно способствовало дости-

жению превосходства в космической отрасли. В современных условиях подготовка инженерных кадров рассматривается сквозь призму обеспечения технологического суверенитета, подразумевая ориентацию на достижение национальных целей через инновационную и научную деятельность, направленную на межотраслевое технологическое развитие.

Государственная политика в области образования определяет основные векторы совершенствования инженерной подготовки, фокусируясь на требованиях экономической безопасности, обороноспособности страны и достижении лидирующих позиций в мировом промышленном производстве. На правительственном уровне обеспечение технологического суверенитета в системе высшего образования признано ключевым элементом национальной безопасности и экономической политики, ориентирует на взаимодействие вуза с реальным сектором экономики – производством и бизнесом.

Решение задач технологического суверенитета смещает акцент в образовании с фундаментальной подготовки на профессиональную ориентацию. В процессе создания конкурентоспособного инженерного продукта специалист последовательно выполняет функции проектировщика (разработка системы), инженера-внедренца (запуск и управление процессами) и менеджера (продвижение продукта и сопровождение его жизненного цикла).

Промышленные предприятия и бизнес-структуры выражают растущую озабоченность дефицитом и недостаточной практической готовностью инженерных кадров для решения задач импортозамещения и обеспечения технологического лидерства. При этом большинство региональных организаций заинтересованы в сотрудничестве с вузами для восполнения кадрового дефицита. Несмотря на рост высокотехнологичного бизнеса в России, выпускники инженерных специальностей сталкиваются с длительной адаптацией к реальным производственным условиям и задачам коммерциализации продуктов. Это противоречие, известное как «Skill gap» (разрыв между теорией и практикой) инженерного образования. Мостом между теорией и практикой могут стать бизнес-ориентированные компетенции, интегрированные в образовательный процесс.

Совокупность ключевых технологий определяет смещение образовательных целей в сторону освоения перспективных элементов критических технологий. Программы подготовки должны быть нацелены на формирование способности к технико-технологической конкуренции через интеграцию знаний и технологий, изучение лучших практик и эффективных коммуникационных моделей. Критерии оценки компетенций должны выходить за рамки решения типовых задач и ориентироваться на создание и продвижение конкурентоспособных продуктов.

Таким образом, тренды инженерного образования переход к новому технологическому укладу и обеспечение технологического суверенитета обуславливают необходимость синтеза фундаментальных знаний, практико-ориентированных навыков и «гибких» компетенций (soft skills), необходимость тесного и проактивного взаимодействия образовательных организаций с реальным сектором экономики.

Список литературы

1 Актуальные проблемы и перспективы в сфере инженерной подготовки: Авторская монография. – Оренбург: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – 179 с.

2 Сазонова, Т. В. Гибкие стратегии подготовки кадров в интересах территории опережающего социально-экономического развития / Т. В. Сазонова, А. В. Кирьякова, И. Д. Белоновская // Казанский педагогический журнал. – 2023. – №2 (157). – С. 20–26.

3 Сазонова, Т. В. Трансформация современного профессионального образования: принципы и региональная реализация / Т. В. Сазонова, А. В. Кирьякова, И. Д. Белоновская // Инновационная экономика и общество. – 2022. – № 4(38). – С. 104-113. – EDN CGWSET.

4 Developing the future bachelors' information needs in the university's information and education environment / L. I. Savva, I. D. Belonovskaya, S. S. Velikanova [et al.] // Política e Gestão Educacional. – 2022. – Vol. 26, No. S5. – P. 17423. – DOI 10.22633/rpge.v26i00.17423.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Борисов А.В., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Миралимов И.Б.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: рассмотрен вопрос автоматизации процессов механической обработки, в том числе финишной доработки деталей, также рассмотрен вопрос контроля выполнения производственных заданий с помощью программно-аппаратных комплексов.

Ключевые слова: механическая обработка, учет производственных заданий.

Автоматизация производства в машиностроении представляет собой самостоятельную комплексную задачу, связанную с созданием нового современного оборудования, технологических процессов, систем организации производства при систематическом повышении прибыли, улучшении условий труда и сокращении потребности в рабочей силе.

Эффективность автоматизации определяется тем, насколько рационально организован производственный процесс в целом, комплексно ли и на всех ли звеньях технологической цепочки внедрены средства автоматизации, насколько принятая система организации и управления производством позволяет принимать решения на низшем уровне.

Такое направление, как финишная доработка металла, пользуется интересом не случайно. Любое изделие из металла после производства имеет определенные дефекты – от неровностей и до окалины, и для того, чтобы придать изделию товарный вид и в принципе сделать его пригодным к эксплуатации, необходимо бывает привести его в порядок.

Финишная металлообработка выполняется на завершающем этапе производства продукции и проводится с целью придания изделиям товарного вида, а также обеспечения заданной функциональности. В производственных процессах, связанных с ковкой, при финишной обработке удаляется окалина, и устраняются дефекты формы. При штамповке зачастую полируют вырубную кромку. Словом, каждый вид металлообработки предполагает свою финишную стадию.

Окончательную обработку металлопродукции выполняют следующими методами:

- механический;
- химический;
- электрохимический;

– плазменный.

Для этого существуют определенные приемы, в которых и выражается финишная обработка металла – это пескоструйная и дробеструйная обработка, а также и другие технологии, позволяющие выполнить необходимые работы в полном их объеме и привести изделие в необходимый вид.

Подобная обработка не представляет особой сложности, однако все эти операции требуют задействования специализированного оборудования. И от качества этой техники во многом зависит качество выполнения операций, скорость их выполнения и результат.

Практика показывает, что современное техническое оснащение, используемое на предприятии в процессе выполнения таких операций, позволяет получать более высокий результат как по показателям качества, так и по аспектам экономической выгоды, потому как, несмотря на более высокую стоимость такого оборудования, оно обеспечивает экономию в процессе производства и, как следствие, возможность предоставления заказчику изделий по менее высокой цене [1].

Для проведения финишной доработки следует использовать специализированное оборудование, обладающее узконаправленной областью действия. Автоматизация такого оборудования связана с внедрением систем числового программного управления (ЧПУ) и оснащением участков специализированными средствами доставки заготовок и установки (снятия) их на станки.

Поскольку автоматизация подразумевает применение большого количества взаимодействующего друг с другом оборудования, возникает потребность строгого контроля выполнения производственно-технических заданий и учета рабочего времени оборудования.

Под производственно-техническими заданиями на предприятиях понимают сменные задания на обработку деталей или изделий. Поскольку большинство современных станков, оборудованы ЧПУ, следовательно учет выполнения заданий возможен с применением автоматизированных программных средств, которые позволяют составлять отчетную документацию по загрузке и простоям каждой единицы оборудования.

Контроль выполнения производственных заданий – важная составляющая деятельности руководителя. Точно поставленные задачи, время на их выполнение, трудозатраты, промежуточные и финальные результаты являются гарантией понимания руководителем и сотрудником важности и ценности проделанной работы. Для принятия успешных решений руководитель должен иметь объективные, точные данные.

Автоматизация данной области позволяет собирать в базе данных информацию о работе сотрудников, на каком этапе находится каждая из них, сроки исполнения, понять процент успешных и неудачных результатов.

Основой получения информации о выполнении заданий является система мониторинга производственного оборудования (СМПО). Получаемая информация позволяет провести анализ причин потери времени работы оборудования.

Наилучшим решением реализации СМПО является программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий мониторинг работы станочного парка и персонала в режиме реального времени, классификацию и анализ простоев, оперативную диспетчеризацию цеховых и сервисных служб, передачу управляющих программ на станки с ЧПУ и выпуск отчетов об эффективности производства. Основой аппаратной частью комплекса может выступать терминал с сенсорным экраном, пленочной клавиатурой и набором портов для передачи данных – так называемый электронный блок мониторинга, который монтируется в наиболее удобном для подключения, безопасном и легко доступном для оператора месте на корпусе станка или стойки ЧПУ.

Очевидный плюс аппаратной технологии мониторинга заключается в возможности сбора дискретных сигналов практически с любого оборудования – система охватывает не только оборудование с ЧПУ, но и универсальные станки, сварочные установки, печи термической обработки и т.д. Кроме того, при наличии терминала появляется возможность указывать причины простоя и расширять функционал за счет подключения периферийных устройств, например сканера штрихкода или датчика RFID.

Очевидными лидерами среди СМПО являются система контроля работы промышленного оборудования и администрирования программ на станках с ЧПУ «Диспетчер» разработана в ИЦ «Станокосервис», Россия, г. Смоленск [2] и система мониторинга «Foreman», разработана АО «ЛО ЦНИТИ», Россия, г. Санкт-Петербург [3].

Автоматизация процессов механической обработки, в том числе внедрение систем ЧПУ на предприятиях, а также установка системы учета производственных заданий и выполненных работ позволит руководителям организации получить объективные данные о трудовых затратах на различные производственные процессы, что позволит оптимизировать общую трудоемкость и повысить производительность труда.

Список литературы

1 Финишная обработка металла [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/finishnaya-obrabotka-metalla/>. – 08.09.2025.

2 Надежный инструмент объективного контроля производства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mpr.midural.ru/UPLOAD/2018/04/Dispetcher.pdf>. – 08.09.2025.

3 СМПО Foreman – промышленный Интернет для российских предприятий [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://upro.ru/library/information_systems/automation_production/smpo-foreman/. – 08.09.2025.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Васильева Ю.В., Осипов Е.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье представлено влияние технических показателей на стабильность конструктивной схемы изделия. Комплексно рассматриваются особенности работы этого процесса, учитывая взаимосвязь структуры и свойств изделия, на примере турбонасосного агрегата для двигателей. Выявлена, необходимость разрешения противоречий между растущими научно-техническими потребностями и возможностями существующих изделий, лежащие в основе изготовления новых элементов летательного аппарата.

Ключевые слова: конструктивная система, конструктивная схема, структурные элементы, изделие, структура конструкции, турбонасосный агрегат, двигатели летательных аппаратов.

Турбомашиной в двигателях летательных аппаратов (ДЛА), жидкостно-ракетных двигателях (ЖРД) или авиационных газотурбинных двигателях (ГТД) является сочетание лопаточных машин с турбинным приводом, которые выполняют задачу генератора давления топливных компонентов (окислителя и горючего). Окислителем в ГТД выступает кислород, турбина приводит в движение компрессор, всё вместе это представляет собой турбокомпрессор. В ракетных двигателях использующих жидкие компоненты топлив, насосы приводятся турбиной. Такая турбомашина называется турбонасосным агрегатом (ТНА).

Компонентами ТНА являются турбины, насосы горючего и окислителя, образующие конструктивную систему изделия. Визуализацией условных графических изображений, характеризующихся типом, количеством, взаимным расположением и взаимосвязями структурных элементов системы изделия является конструктивная схема [1].

С увеличением энергоемкости ДЛА предъявляются всё более строгие требования к агрегатам подачи топлива. Это во многом определяет совершенство и надёжное функционирование двигателя, так основной научно-технической задачей становится конструирование и разработка высокоэффективного ТНА. Это подтверждает опыт создания для ракеты-носителя (РН) и ракетно-космического комплекса (РКК) высокопроизводительных отечественных ЖРД. В процессе конструирования находили решения не только научно-исследовательские проблемы, но и технологические и эксплуатационные.

Во второй половине XX века началось проектирование производительных на то время кислородно-керосиновых ЖРД. Создание и доводка этих двигателей

привели к появлению самых мощных ЖРД [2]. Однако при разработке главных структурных элементов ТНА, их инновационность решений и незначительный научно-технический задел, вызвали большое число отказов, во время испытаний (до 75 % отказов) и к существенному увеличению объема необходимой материальной базы, временных затрат и стоимости отработки двигателей [3].

На каждом этапе разработки ТНА, от первых образцов до серийного производства, качественно и детально подобрана конструктивная схема, завершены работы по проектированию, выстроена методика отладки, обеспечена надёжность, минимизированы сроки работ на каждом этапе и общее время создания двигателя.

1 Особенность выбора конструктивных схем турбонасосного агрегата

Проектирование ТНА начинается с определения конструктивной схемы. Сложность данного процесса заключается в ограниченности начальных данных и отсутствии, однозначных критериев для выбора оптимальной схемы. Выбор проектировщика часто зависит от его опыта и интуиции, отражаясь не в точных математических расчетах, а в личных предпочтениях, представлениях об идеальном образце, внутренних ощущениях и экспертных оценках. Необходимо помнить, что выбор конструктивной схемы определяет не только предполагаемую структуру и рабочие характеристики самого ТНА, но и влияет на параметры ЛА. Следовательно, проектирование должно быть системным, учитывающим взаимосвязь между ТНА и ЛА, а также учитывать влияние выбранной конструктивной схемы на общие характеристики системы.

Для снижения массы турбонасосной машины необходимо увеличить скорость вращения её ротора. Однако это требует увеличения давления на входе в насос, чтобы избежать кавитации, что, в свою очередь, приводит к необходимости повышения давления в баке и добавляет вес конструкции. Одним из способов повышения производительности агрегата является установка внешних преднасосов, выполняющих роль бустерного турбонасосного агрегата, и применение двухкаскадной схемы. В этом случае один из каскадов (преднасос) функционирует на сравнительно невысокой скорости, что предотвращает кавитацию, в то время как высокооборотный насос второго каскада вращается с нужной скоростью для уменьшения общей массы конструкции.

Схемы бустерного ТНА зависят от ступени ракеты и могут отличаться типом преднасосов и основных насосов, турбин, количеством ступеней насосов и турбин. Применение больших инерционных подпор и обеспечение выработки компонента в длинной трубе, соединяющей бак с двигателем, в нижних ступенях, возможно при размещении бустерного ТНА возле основного, либо непосредственно на нём. Так как для верхних ступеней инерционные подпоры и длина труб небольшие, бустерный турбонасосный агрегат размещают у бака.

Процесс получения конкретного решения на основе заданных параметров и условия, определяющие этот выбор, задаются алгоритмом. При проектировании происходит внедрение новых элементов в алгоритм выбора решения, поэтому необходимо совершенствовать технические системы, технологии и конструкционные материалы. Следовательно, проектирование современных изделий возможно лишь при системном подходе, так как ценность проектных решений зависит от учета большого числа факторов, их уникальности и конфигурации [4].

2 Конструкция и её структура

С точки зрения комплексного анализа, конструкция изделия рассматривается нами как категория, формирующая набор свойств, необходимых для выполнения его целевого назначения [5]. Набор характеристик закладывается в конструкцию с учётом её состояния в процессе проектирования и производства. Конструктивная система обеспечивает комплекс свойств и связей изделия, необходимых для реализации им своего функционального назначения.

Одновременно с иерархической структурой и недостатком исходных данных, невозможно организовать структуру за один раз, поэтому применяется итерационный процесс проектирования с доводкой. Нарботанный опыт проектирования и доводки, формирование научно–технического задела, разработка новых стендов и оборудования внутри организации ведут к непрерывному росту квалификации сотрудников, а также к постоянному улучшению выпускаемой продукции, появлению новых модификаций и схем.

Внешнюю структуру изделия можно описать, используя систему геометрических взаимосвязей, создаваемых всеми подсистемами, которые задают набор характеристик и связей конструкции (включая форму, размеры и расположение). Каждая подсистема выполняет свою роль и создана для решения определённой задачи, что дает возможность структурировать систему относительно каждой из подсистем.

Множество подсистем и взаимосвязей конструкции обуславливает множество видов конструктивных схем с большим количеством условий и не систематизированными знаниями. Всё это относит выбор конструктивной схемы к классу NP-сложных задач. Лучшие результаты в решении задачи выбора конструктивной схемы даёт внедрение алгоритмов случайного поиска, а именно, генетического алгоритма [6].

Любое изделие при разработке воспринимается, через свойство внешней структуры, это является основой и представляется в форме геометрической связи. Свойства геометрической структуры взаимосвязаны и взаимно влияют. Так, изменение формы проточной части насоса или турбины ТНА влечет за собой изменение совокупности размеров, что, в свою очередь, сказывается на их нагруженность и воздействие на подшипники.

Силовая система формирует область возможных концепций множеств, что обеспечивает ее автономность. При этом каждая система существует в контексте внешней структуры конструктивной системы. Представленные характеристики показывают взаимосвязь систем, что служит базой в решении оптимизационных задач при разработке ракетных и авиационных двигателей [7].

Благодаря качеству совокупности свойств, определяющих пригодность использования по назначению, оценивается изделие. Качество характеризуется комплексом параметров и характеристик, выполнением задач в течение необходимого времени, при соблюдении указанных условий и режимов эксплуатации, обслуживания, ремонта, перевозки и хранения.

Не качественное представление информации приводит к проблеме оптимизации и построения конструкции системы ТНА. Из-за постоянного усложнения и отсутствия развитого аппарата для описания конструкции ТНА, а также неполноты знаний, появляется значительная вариативность и разрозненность полученных результатов. Следовательно, требуется разработка такой технологии моделирования и оптимизации, которая учитывала бы внутреннюю эволюцию структуры конструктивных схем и адаптивно формировала бы модели. Перспективные возможности в этом направлении показывают использование генетических алгоритмов.

Заключение

Выбор схемы во время эскизного проектирования следует отнести к сложным задачам и применение генетического алгоритма показывает хорошие результаты в решении. Данное направление синтеза на этапе эскизного проектирования активно развивается. Идеи продолжают развиваться в направлении алгоритмизации синтеза конструктивной схемы в системы автоматизированного проектирования ТНА и разработки генетического алгоритма для этой цели.

Достижения в области анализа и разработки конструктивных схем, принимая во внимание их характеристики, можно применять в создании новейших образцов техники почти для любого назначения.

Список литературы

- 1 Белоусов, А. И. Гидрогазодинамическое проектирование турбонасосных агрегатов двигателей летательных аппаратов: учебное пособие / А.И. Белоусов, И.П. Косицын, С.Н. Рождественский. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1974. – 136 с.
- 2 Гуров, В. И. Вклад ЦИАМ в создание ракетных двигателей / В.И. Гуров, А.И. Гулиенко, В.Л. Семёнов, В.А. Шерстянников, Л.С. Яновский. – М.: Редакция журнала «Двигатели», 2010. – 194 с.

3 Иванов, А. В. Конструкция и проектирование уплотнений проточной части насосов и турбин ТНА ЖРД: учебное пособие / А.В. Иванов, В.А. Коробченко, А.В. Шостак. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – 86 с.

4 Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: Системный подход: Пер. с польск / Я. Дитрих. – М. Мир, 1981. – 456 с.

5 Белоусов, А. И. Конструктивные и силовые схемы турбомашин двигателей летательных аппаратов: учебное пособие / А.И. Белоусов. – Куйбышев: Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт им. С. П. Королева, 1988. – 92 с.

6 Кораблин, М. А. Эволюционные алгоритмы в имитационном моделировании / М.А. Кораблин, И.А. Минаков // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – Самара: ИПУСС РАН, 1999. – С. 45-51.

7 Белоусов, А. И. Методы оптимизации в проектировании двигателей летательных аппаратов: Методические указания / А.И. Белоусов, А.И. Иванов. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1980. – 30 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Фролов С.И., Штудент И.К.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: рассмотрен вопрос автоматизации процессов контроля качества изделий на предприятиях, проанализирована эффективность применения специализированных программных средств, позволяющих производить учет контрольных операций в автоматизированном режиме.

Ключевые слова: контроль качества, автоматизация контроля.

Понятие качества продукции регламентировано в Российской Федерации государственным стандартом ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» [1].

Качество - это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Проведение контроля качества изготавливаемых изделий и продуктов, независимо от типа производства, является неотъемлемым этапом любого процесса. Основными целями проведения контроля является определение дефектов в заготовках и изделиях, выявление бракованных изделий в готовой продукции и проведение расчетов надежности в процессе изготовления.

Современные предприятия имеют в своем составе отдельно выделенные службы или отделы контроля качества. Такие службы могут быть централизованными или иметь иерархическое разделение, в зависимости от размеров предприятия и количества изготавливаемых наименований изделий.

Для различных типов производств предусмотрены свои способы и методы проведения контроля качества. При этом имеются элементы, свойственные для всех предприятий, такие как:

- 1) показатели (стандарты, технические параметры), характеризующие качество продукции;
- 2) методы и средства контроля качества;
- 3) технические средства для проведения испытаний;
- 4) результаты анализа рекламаций;
- 5) причины возникновения дефектов, брака и условия их устранения.

Для машиностроительного предприятия, продукцией которого являются детали, прошедшие механическую обработку, характерно проведение трехступенчатого контроля качества. А именно входной контроль заготовок, межоперационный контроль в процессе обработки и выходной контроль готовых деталей.

При этом контроль изделий может быть как сплошной, так и выборочный. Сплошной контроль изделий применим при штучном и мелкосерийном производстве, или при производстве ответственных деталей. Выборочный контроль используют при серийном, крупносерийном и массовом производстве.

Следует отметить, что выборочному контролю присущ определенный риск, поскольку решение о качестве всей партии принимается по результатам контроля небольшой выборки образцов. Ошибочно может быть забракована «хорошая» партия (риск производителя) или принята плохая партия (риск потребителя). Этот риск можно снизить путем увеличения объема выборки контрольных образцов, но при этом возрастают расходы [2].

Ответственные герметичные изделия чаще всего производятся небольшими партиями. Для таких изделий применяется сплошной контроль качества (контроль на герметичность).

На предприятии подвергаются испытаниям на герметичность три вида изделий. Для каждого изделия предусмотрен свой порядок испытаний и свои методы контроля герметичности.

Изделие №3 имеет самый короткий технологический процесс контроля герметичности. Основным методом является так называемый метод мел - керосин.

Изделие № 2 подвергается визуальному осмотру, затем проходит подготовку к испытаниям, затем проводятся испытания на герметичность методом спиртовых ванн.

Изделие №1 проходит визуальный осмотр, затем подготовку к испытаниям, затем проводятся испытания на прочность, после чего испытания на герметичность методами: внутреннего давления (по полостям), внешнего давления, вакуумированием и накоплением.

В настоящее время на производстве информационная поддержка контроля изделий осуществляется только в бумажном виде. Вся документация составляется на бланках, разработанных предприятием, и передается от исполнителя к исполнителю, далее к руководителю только в бумажном виде. В связи с чем, временные рамки проведения контроля иногда превышают положенные сроки.

Для повышения эффективности процесса контроля качества возможно применение современных специализированных программных средств учета контрольных операций. Примеры экранных форм разработанного программного продукта представлены на рисунках 1 и 2.

Эффективность применения программного обеспечения при проведении контроля была оценена с помощью метода экспертной оценки. Коллективную экспертную оценку (КЭО) определяли, как средневзвешенную из индивидуальных оценок (рисунок 1, 2).

Рисунок 1 – Окно формирования протокола проверки

Рисунок 2 – Окно заполнения замечаний

В качестве основных результатов в опросе были приняты:

- 1) повышение точности полученных результатов при контроле изделий;
- 2) снижение времени проведения контроля партии изделий.

Факторами, были указаны параметры процесса контроля изделий:

- квалификация контролера;
- стаж работы в должности;
- наличие точной инструкции по проведению контроля изделия;

- применение специализированной оснастки;
- применение КИМ;
- применение специальных программ учета контрольных операций.

Результаты опроса экспертов показали, что на повышение точности результатов, полученных при контроле изделий, наибольшее влияние имеет применение специальных программ учета контрольных операций, следующим фактором является применение КИМ, но при этом применение контрольно-измерительной машины по мнению экспертов повышает время проведения контроля изделий, поскольку коллективная экспертная оценка данного фактора имеет низкое значение, по сравнению с другими факторами.

Эксперты признали наиболее весомым фактором, влияющим на снижение времени проведения контроля партии изделий применение специализированной оснастки, и вторым по важности фактором при этом является применение специальных программ учета контрольных операций.

Следовательно, можно сделать вывод, что применение специального программного обеспечения и специализированной оснастки при проведении контроля изделий позволят достичь повышения точности полученных результатов при контроле изделий и снижения времени проведения контроля партии изделий.

Список литературы

- 1 ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1979-01-26. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 22 с.
- 2 Горелик, О. М. Производственный менеджмент: принятие и реализация управленческих решений: учебное пособие / О.М. Горелик. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2014. – 270 с.

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МЕДИЦИНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гиндер М.В., канд. мед. Наук
СПб ГБУЗ «Городская поликлиника №43», город Санкт-Петербург

Аннотация: цифровое производство в медицине представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений, объединяющее достижения аддитивных технологий, искусственного интеллекта, робототехники и интернета вещей (IoT). Научно – техническая эволюция информационных технологий влечёт к цифровой трансформации образования, интенсивному применению в образовании цифровых технологий [1]. В статье рассматриваются ключевые технологии цифрового производства, их применение в диагностике, протезировании, хирургии и персонализированной медицине. Особое внимание уделено 3D-печати биосовместимых материалов, автоматизированным системам дозирования лекарств и цифровым двойникам пациентов. Анализируются преимущества и вызовы внедрения цифровых производственных технологий в медицинскую практику, а также перспективы их дальнейшего развития.

Ключевые слова: цифровое производство, 3D-печать, персонализированная медицина, медицинские роботы, цифровой двойник, биопринтинг.

Современная медицина переживает этап цифровой трансформации, обусловленный развитием высоких технологий. В ближайшее время российскими разработчиками планируется запуск телемедицинской платформы дистанционного мониторинга физиологических параметров человека, которая уже сейчас является системно значимой для развития цифрового здравоохранения [2]. Цифровое производство (ЦП) – это процесс создания изделий с использованием компьютерного моделирования, автоматизированных систем и аддитивных технологий. В медицине оно открывает новые возможности для персонализированного подхода к лечению, сокращения времени изготовления имплантов и повышения точности медицинских вмешательств.

В данной статье мы попытались систематизировать знания о современных технологиях цифрового производства в медицине, оценить их эффективность и обозначить перспективы развития. Нужно помнить, что без элементарной математической подготовки невыполнима постановка образования современного человека [3].

Рассмотрим основные технологии цифрового производства в медицине:

1. 3D-печать в медицине. Аддитивные технологии, в частности 3D-печать, нашли широкое применение в создании: индивидуальных имплантов (черепные,

суставные, зубные протезы); биосовместимых конструкций (каркасы для тканевой инженерии); хирургических шаблонов (навигация при операциях).

Методы 3D-печати: FDM (Fused Deposition Modeling) – печать полимерными материалами; SLS (Selective Laser Sintering) – лазерное спекание металлов и керамики; SLA (Stereolithography) – фотополимеризация жидких смол.

2. Биопринтинг – это печать живыми клетками для создания тканей и органов. Основные подходы: экструзионный (послойное нанесение биочернил); лазерный (точечное перенесение клеток); электроспиннинг (формирование нановолокон). Перспектива – создание функциональных трансплантатов кожи, хрящей и сосудов.

3. Цифровые двойники пациентов. Цифровой двойник – виртуальная копия пациента, созданная на основе данных МРТ, КТ и геномного анализа. Применяется для: прогнозирования реакции на лечение; оптимизации хирургических вмешательств; тестирования лекарственных препаратов *in silico*.

4. Роботизированные системы в медицине: хирургические роботы (Da Vinci, ROSA) – повышение точности операций; автоматизированные лаборатории – ускорение диагностики; дозирующие системы – персонализированная доставка лекарств.

Рассмотрим применение цифрового производства в клинической практике.

Стоматология и челюстно-лицевая хирургия: 3D-печать индивидуальных зубных протезов; создание хирургических шаблонов для имплантации.

Ортопедия и травматология: производство титановых имплантов сложной геометрии; биорезорбируемые конструкции для восстановления костей. В настоящее время, по самым скромным подсчетам, около двухсот тысяч человек во всем мире нуждаются в трансплантации органов. Но не у всех людей есть возможность дождаться трансплантации. Теперь, благодаря 3D-печати, мы сделали эту проблему разрешимой. Так же на 3D-принтере изготавливаются ортезы. Их создают на основе биометрических параметров пациента. Специальная программа преобразует размеры руки или ноги в 3D-модель ортеза. Ортезы, изготовленные методом 3D-печати, точнее прилегают к телу и, с эстетической точки зрения, выглядят привлекательнее. Из всего выше сказанного следует, что 3D-принтер – это одно из перспективных технологий. Применение технологии 3D-печати позволяет гарантировать, что операция будет успешно проведена, и время её проведения в разы сократится [4].

Кардиология и сосудистая хирургия: 3D-модели сердца для планирования операций; стенты и сосудистые графты, напечатанные на заказ.

Фармацевтика: персонализированные таблетки с регулируемой дозировкой; микрожидкостные системы доставки лекарств.

Преимущества цифрового производства: сокращение сроков изготовления медицинских изделий; повышение точности и снижение рисков при операциях; возможность массовой кастомизации.

Проблемы цифрового производства: высокая стоимость оборудования; необходимость стандартизации и сертификации; этические вопросы биопечати.

Перспективы развития цифрового производства: интеграция ИИ для оптимизации проектирования имплантов; развитие гибридных 3D-принтеров для мультиматериальной печати; создание полнофункциональных искусственных органов.

Цифровое производство в медицине трансформирует подходы к диагностике, лечению и реабилитации. Несмотря на существующие технологические и регуляторные барьеры, дальнейшее развитие этого направления открывает путь к персонализированной и прецизионной медицине будущего.

Список литературы

1 Гиндер, М. В. Обеспечение информационной безопасности в цифровой образовательной среде / М.В. Гиндер, К.В. Кудашева, А.А. Талицких // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2022 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2022. – С. 35-41. – EDN VISEAR.

2 Широкова, В. Е. Управление инновационными проектами в телемедицине / В. Е. Широкова // Экономика. Бизнес. Банки. – 2020. – № 2(40). – С. 94-108. – EDN QIKSOF.

3 Гиндер, М. В. Роль математического образования в современных образовательных системах / М.В. Гиндер, К.В. Кудашева, А.А. Талицких // Социально-гуманитарные инновации: стратегии фундаментальных и прикладных научных исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Оренбург, 20-21 мая 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 325-328. – EDN TGSPQR.

4 Владимирова, А. Н. Использование технологии 3D-печати в медицине / А.Н. Владимирова, О.Ю. Герасимова // Современные проблемы развития техники, экономики и общества: Материалы II Международной научно-практической очно-заочной конференции, Казань, 04 апреля 2017 года / Научный редактор А.В. Гумеров. – Казань: «Рокета Союз», 2017. – С. 45-47. – EDN YOJTLR.

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

**Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, Магдин А.Г., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: композиционные материалы отличаются жаростойкостью и прочностью, широко применяются в конструкции летательных аппаратов различного назначения, могут характеризоваться высокой вязкостью разрушения и жаропрочностью, устойчивы к радиации, и обладать низкой теплопроводностью.

Ключевые слова: композиционные материалы, волокнистые материалы, связующее, проектирование.

Инновационное развитие авиационно-космического машиностроения идет опережающими темпами по сравнению с другими отраслями промышленности. Информационная среда в совокупности с высокотехнологичным оборудованием дает возможность получить эффективный высокопроизводительный технологический процесс, обеспечивающий органическую связь конструирования с технологией, что определяет технологичность конструкции в процессе ее проектирования.

Проблема создания и усовершенствования сопряжений актуальна и активно разрабатывается не только в России, но и за рубежом. Так в отечественном авиационно-космическом машиностроении традиционно основные работы в данном направлении проводятся в: ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»; ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»; в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет); АО «НИАТ»; АО «КАПО-Композит»; АО «АэроКомпозит–Ульяновск». Развитие данного направления предусмотрено в ряде государственных программ: Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы»; Основы государственной политики в области развития оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [1-3].

Однако, трансфер знаний в области волокнистых и многослойных композитных конструкций требует системный подход в подготовке кадров от инженерных классов авиастроительного профиля в общеобразовательных организациях до подготовки кадров уровня магистратуры.

Особо актуальными на настоящее время остаются вопросы:

1. Разработки новых типов силовых композитных конструкций, на основе волокнистых материалов, обладающих структурой различной топологии и обеспечивающие высокую весовую эффективность в сравнение с аналогичными волокнистыми пакетами. Выявление зон в слоистых пакетах, с высоким уровнем напряжением, в связующем, в районе сопряжений и обеспечение возможности локального упрочнения конструкций путем формирования упрочняющего слоя на поверхности элементов, составляющих собираемый узел [4].

2. Разработки высокоэффективных антиокислительных покрытий как на поверхности как и в объёме материала (типа углерод-углерод, углерод-керамические и т.д.) на элементах конструкции выполненных из титановых сплавов, с целью защиты областей, описывающих аэродинамический облик летательного аппарата (кромки несущих поверхностей, обтекатели, корпус планера), подвергающиеся действиям продолжительных по времени критических температур и газодинамического воздействия для данных конструкционных материалов на гиперзвуковых скоростях до 10 Махов и скоростях близким к быстрому гиперзвуку.

Приоритетными направлениями реализации видятся:

- формирование исследовательской повестки в контексте глобальных вызовов и национальных интересов;
- развитие партнерств и современных форм организации научных исследований;
- подготовка исследователей мирового уровня; разработка цифровых инструментов и инноваций с последующей коммерциализацией технологий.

Выполнение проектно-конструкторских работ, направленных на динамику сопряжения волокнистых и многослойных композитных конструкций на основе разработки высокопроизводительных технологических процессов предполагает решение следующих задач [5]:

- разработка технологии рационального проектирования сопряжений различной топологии конструктивно-силовых схем регулярной и переменной структуры;
- разработка технологии сопряжения композитных, металлических и неметаллических сборочных единиц (панелей обшивки, окантовок, вырезов, местных усиления) в зависимости от степени ориентации, объёма наполнителя и анизотропии материала;

– разработка технологии изготовления сопряжений, исключая деформацию в процессе термической обработки на основе инновационной технологии, в части оптимизации проектных и конструкторских параметров, обеспечивающих выполнение критериальных показателей;

– разработка объединяющего алгоритма параметрического синтеза, обеспечивающего единственность решения для проектно-конструкторских работ волокнистых и многослойных композитных конструкций.

Получение и применение новых знаний в реализации новых технологии рационального проектирования, подготовки молодых ученых, включения университета в решение исследовательских задач национального и глобального уровня, участия в международных коллаборациях и высокой научной продуктивности научно-педагогических работников в процессе выполнения прикладных НИР.

Список литературы

1 Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К.Е. Перепелкин. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

2 Шайдурова, Г. И. Влияние структурных особенностей арамидных волокон на ФМХ свойства органопластиков / Г.И. Шайдурова, А.Ю. Лузенин, Ю.Г. Лузенин // Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2009», г. Пермь, 9-10 апр. 2009 г. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. – С. 43-44.

3 Корнеева, Н. В. Разработка волокнистых полимерных композиционных материалов, армированных СВМПЭ – волокнами, тканями и неткаными материалами, обработанными неравновесной низкотемпературной плазмой: дисс. ...докт. наук, Казань, 2011.

4 Перепелкин, К. Е. Принципы и методы модифицирования волокон и волокнистых материалов / К.Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2005. – №2. – С.37-51.

5 Дружинина, Т. В. Химические волокна: основы получения, методы исследования и модифицирование: учебное пособие для химикотехнологических факультетов высших учебных заведений / под ред. Т.В. Дружининой. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. – 472 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор, Калинина И. С., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Магдин А.Г., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассмотрены некоторые задачи, возникающие при проектировании деятельности экипажа ЛА, и дается основное направления их решения. При этом проектировочный анализ деятельности имеет как самостоятельное значение для обоснования состава экипажа, распределения функций, так и является исходным материалом для разработки рабочих мест экипажа.

Ключевые слова: летательный аппарат, эргономика, системный подход, человек-оператор.

В настоящее время во всех областях техники непрерывно увеличивается объем эргономических исследований. Развитие науки расширяет сферу разнообразных взаимодействий человека с созданными им орудиями труда, средствами механизации и автоматизации трудовых процессов и поэтому повысить эффективность систем человек – техника можно лишь на основе глубокого и всестороннего изучения трудовых процессов.

Проводимые эргономические исследования характеризуются большим разнообразием подходов, описаний и моделей деятельности, методов исследований. Это естественно, поскольку деятельность человека-оператора сложно и изучать ее приходится в различных аспектах. Однако в интересах развития самой эргономики, а также для более эффективного практического использования ее при создании новой техники и эксплуатации, существующей подходы, должны быть увязаны между собой. Основой для разработки общего подхода целесообразно принять понятия и методы теории сложных систем [1, 2].

Системный подход к исследованию деятельности человека-оператора на вероятностной основе является дальнейшим развитием и обобщением существующих методов исследования взаимодействия человека и техники. Чтобы обосновать это утверждение целесообразно, например проследить развитие понятий и методов, используемых при исследовании процессов управления, реализуемых экипажем летательных аппаратов (ЛА).

Одной из первых задач в этом плане было обеспечение приемлемых для летчика характеристик устойчивости и управляемости самого ЛА. Ее решение путем создания методов теоретического и экспериментального исследования ди-

намики полета базировалось на детерминистических принципах. Указанные методы ограничиваются достаточно общими представлениями о характере деятельности человека-оператора и не учитывают вероятностные характеристики условий применения ЛА.

Операционный характер деятельности более очевиден при анализе работы членов экипажа со многими объектами управления, например решении навигационных задач. Поэтому развитие авиационного оборудования, появление новых систем и устройств на борту ЛА послужило причиной для разработки методов исследования деятельности как совокупность операций. Достаточно общим аппаратом таких исследований являются теория массового обслуживания, теория графов. Однако эти теории не занимаются изучением динамики неуправляемого и управляемого функционирования объектов, а оперируют с вероятностными характеристиками возможных состояний и переходов из одного состояния в другое.

В результате, можно считать, что для проведения эргономических исследований необходимо иметь метод, отвечающий требованиям:

- использования в качестве исходных данных вероятностных характеристик условий применения, динамики процессов функционирования отдельных частей системы и требований к качеству управления;
- учета взаимосвязи характеристик условий применения, динамики объектов, качества управления и характеристик деятельности человека-оператора;
- возможности применения в единой критериальной форме для исследований различных видов деятельности, на стадиях проектирования и испытаний.

Разработка этого метода требует обобщение понятий «возмущаемость» и «управляемость» с учетом особенностей управляющей деятельности человека-оператора. В этом ключе необходимо обратить внимание на задачи, возникающие при проектировании деятельности экипажа ЛА. При этом проектировочный анализ деятельности имеет как самостоятельное значение для обоснования состава экипажа, распределения функций, так и является исходным материалом для разработки рабочих мест экипажа.

Описание авиационного комплекса как объекта управления является исходным материалом для проектирования деятельности экипажа. Пусть в данный авиационный комплекс входят N технических объектов $A_1, A_2, \dots, A_n$. К числу таких объектов можно отнести ЛА, его силовую установку, систему пилотажного оборудования, систему электроснабжения и т.д. Каждый из технических объектов предназначен для решения определенной части задачи, который соответствует некоторая определенная во времени или параметрическая программа так, что для всей системы ($z_{изд}$) вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} z_{\text{зад}} &= E(t) \text{ при } t \in (t_1^1, t_2^1), (t_3^1, t_4^1) \dots, \\ z_{\text{зад}} &= 0 \text{ при } t \in (t_0^1, t_1^1), (t_2^1, t_3^1) \dots \end{aligned} \quad (1)$$

Эти программы будут различными для отдельных вариантов применения и, кроме того, они могут меняться в процессе функционирования.

При выполнении программ отдельные технические объекты подвержены воздействиям некоторых случайных или детерминированных возмущений $x_l(t)$, ..., $x_m(t)$ для которых известны следующие вероятностные характеристики на отдельных режимах:

- законы распределения плотностей вероятности $f_l(x_l)$, ..., $f_m(x_m)$;
- спектральные плотности или корреляционные функции $G_{x_l}(\omega)(R_{x_l}(\tau))$, ..., $G_{x_m}(\omega)(R_{x_m}(\tau))$;
- взаимно корреляционные функции для зависимых параметров.

Известны также вероятности указанных выше характеристик для всего многообразия условий применения.

Взаимодействия возмущений на основании уравнений функционирования отдельных объектов будет вызывать изменения их состояния и требовать управления.

Далее, учитывая наличие оптимальных уровней занятости отдельного человека-оператора для данной продолжительности деятельности и ее структуры, можно произвести предварительное распределение функций управления различными техническими объектами с учетом их вариабильности между отдельными членами экипажа и автоматическими устройствами.

Для этого объекты управления, с одной стороны, классифицируются по влиянию на безопасность и регулярность полетов, а с другой стороны, должны быть объединены в группы по функциональному назначению [3, 4].

Список литературы

- 1 Егер, С. М. Основы автоматизированного проектирования самолётов: учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов / С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
- 2 Меликова, М. Б. Инженерно-психологические методы определения характеристик высокоавтоматизированных систем «летчик-самолет» / М.Б. Меликова // Научно-технический сборник ЛИИ. – 2018. – № 266. – С. 24-32.
- 3 Новожилов, Г. В. Безопасность полета самолета [Текст]: концепция и технология / Г.В. Новожилов, М.С. Неймарк, Л.Г. Цесарский. – М.: Машиностроение, 2003. – 144 с.

4 Харитонов, В. В. Эргономические недостатки кабин самолётов как факторы риска безопасности полётов / В.В. Харитонов, С.Ф. Серёгин // Вопросы безопасности. – 2017. – № 5. – С.1-11.

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ POINTNET

Дарьин И.С., Овечкин М.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в данной работе кратко описана идея и цель реализации преобразования облака точек изделия в модель с использованием метода PointNet. Описан метод генерации обучающих данных через API КОМПАС-3D.

Ключевые слова: PointNet, облако точек, КОМПАС-3D, реверс-инжиниринг, датасет.

Реверс-инжиниринг изделий имеет важную роль в таких отраслях промышленности, как, например, автомобилестроение. Несмотря на значимость реверс-инжиниринга, часть процессов, основанных на ручном построении модели изделия, остаются трудоемкими и подверженными ошибкам. Это замедляет процесс проектирования и производства. В то же время, развитие методов обработки визуальной информации, полученной с помощью фото- и видеофиксации, открывает новые горизонты для автоматизации и повышения точности процессов реверс-инжиниринга. Но они не идеальны и у каждого метода имеется свой изъян.

Одним из перспективных направлений решения этих проблем является использование нейронных сетей. Современные архитектуры нейросетей позволяют эффективно решать задачи анализа и интерпретации визуальных данных, такие как трехмерная реконструкция объектов, сегментация изображений и распознавание геометрических примитивов. Благодаря своей способности обучаться на больших объемах данных, нейронные сети могут значительно улучшить качество и скорость обработки информации, необходимой для создания точных цифровых моделей изделий.

Интеграция нейросетевых технологий в процессы реверс-инжиниринга может стать ключом к решению проблем, связанных с ручным построением моделей. Это позволит не только повысить эффективность процессов проектирования и производства, но и снизить временные затраты, а также минимизировать вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Таким образом, исследование возможностей применения нейронных сетей для обработки визуальной информации в контексте реверс-инжиниринга изделий представляет собой актуальное и перспективное направление научных изысканий.

Цель работы – автоматизация информационных процессов преобразования облаков точек для автоматизированного проектирования и реверс-инжиниринга

изделий, исключая промежуточное преобразование в формат STL и минимизируя необходимость ручного построения моделей в системах автоматизированного проектирования, с целью повышения точности и скорости процесса создания 3D-моделей.

Основная идея заключается в пропуске процессов реверс-инжиниринга, а именно «Преобразование в STL-модель» и «Ручное построение модели в CAD системе» (рисунок 1).

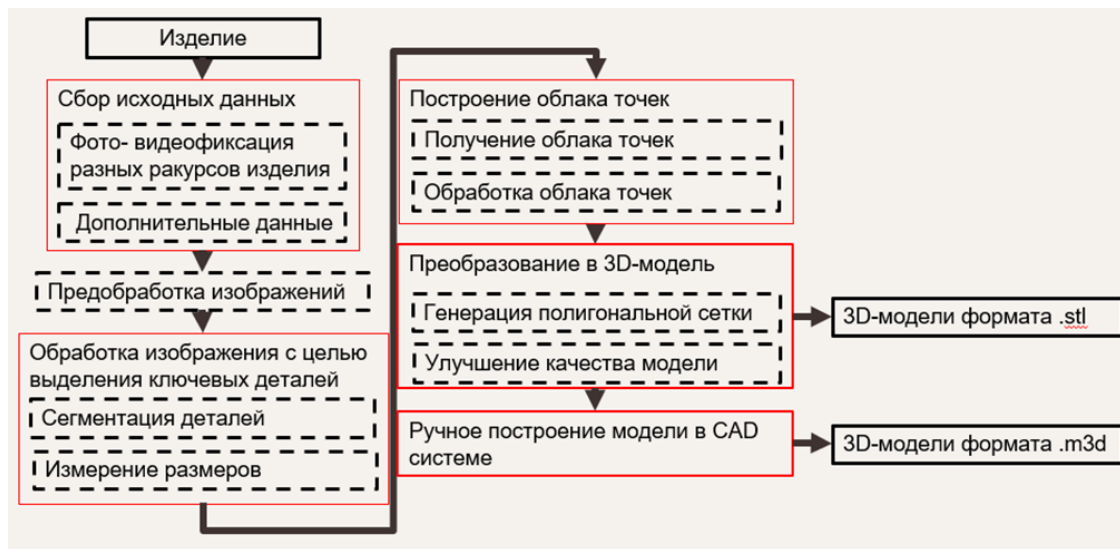


Рисунок 1 – Схема предметной области

Для реализации идеи планируется выполнять операцию разделения облака точек на слои. И последующие слои точек анализировать и находить графические примитивы, необходимые для построения модели изделия. Для анализа слоёв точек был избран метод PointNet. PointNet [1] – это базовая архитектура, которая была разработана для работы с облаками точек (point clouds) и является одной из первых моделей, способных эффективно классифицировать и сегментировать 3D-данные без предварительного преобразования в регулярные сетки. Однако PointNet имеет ограничение: он не учитывает локальную структуру данных, что может быть недостаточно для сложных задач, где важно понимание близости точек друг к другу.

PointNet++ [2] – это расширение PointNet, которое добавляет механизм учета локальной структуры данных через иерархическую группировку точек. Это позволяет модели лучше понимать пространственную организацию точек и извлекать более информативные признаки на разных уровнях детализации.

Для обучения нейросетевых моделей необходим датасет. В нашем случае датасет является вложенным. На вход каскада моделей подаётся «лист точек».

На выходе каскад должен выдать информацию о каждом обнаруженном примитиве, причём данные разных классов примитивов различаются. На рисунке 2 представлена схема извлечения данных.

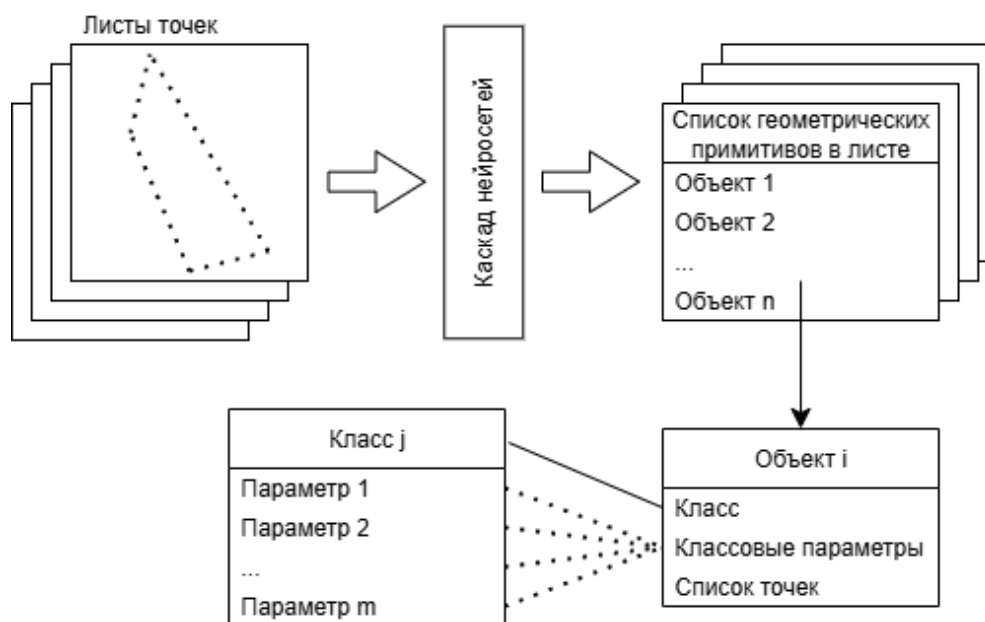


Рисунок 2 – Схема извлечения данных

Опишем все классы, примитивы которых рассматриваются в работе. Так как планируется использовать Компас-3D для целей исследования – определим его основные геометрические единицы (рисунок 3).

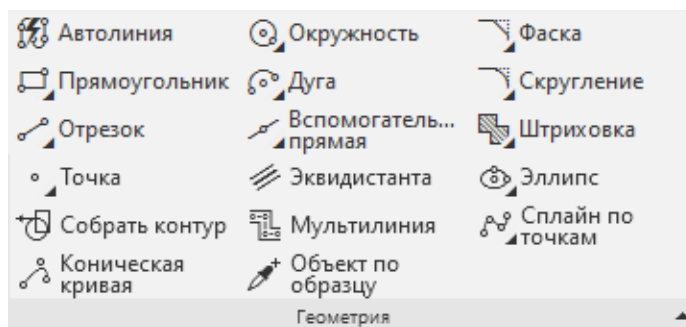


Рисунок 3 – Инструменты Компас-3D для построения эскизов

Исходя из инструментов для построения эскизов, наиболее значимыми графическими элементами, необходимыми для построения почти любого контура, являются: окружность, дуга, отрезок, эллипс, сплайн по точкам. Каждый из этих элементов может иметь любые размеры, находиться в любой части и быть повернутым на любой угол.

Так же облако точек может быть сильно зашумлено в рамках геометрических единиц, даже после его обработки. Но данное условие было принято опустить для упрощения первоначальной работы.

В результате оценки параметров, предлагается хранить в датасете для обучения такие данные классов:

- окружность:
 - а) центр окружности;
 - б) радиус (диаметр) окружности.
- дуга:
 - а) начальная точка;
 - б) произвольная точка на дуге;
 - с) конечная точка.
- отрезок:
 - а) начальная точка;
 - б) конечная точка.
- сплайн по точкам:
 - а) список точек.

Целиком датасет содержит множество «листов точек», каждому экземпляру которого принадлежит список объектов – геометрических примитивов. Каждый объект имеет список принадлежащих ему точек, метку класса и классовые признаки. На текущий момент неизвестен результат поведения моделей с геометрическими элементами, имеющими гладкие или скруглённые формы, т.к. сплайн может восприниматься как набор линий и дуг.

Для данной работы требуется найти большое количество данных для обучения в короткий срок. Метод получения облака точек с помощью лазерного сканирования будет длительным и неудобным. Чтобы справиться с проблемой нехватки времени, предлагается автоматизировать извлечение данных с помощью написания библиотеки для КОМПАС-3D [3]. Данная библиотека будет генерировать данные по созданным заранее эскизам. Данные эскизы будут хранить данные о геометрических примитивах, которые образуют замкнутые контуры. Чтобы симитировать данные облака точек, можно использовать возможности API КОМПАС-3D. В КОМПАС-3D имеется функционал проверки пересечения объектов. Предлагается создать «фантомные» прямые и записывать точки пересечений этих прямых с геометрическими примитивами. Чем короче промежуток между прямыми, тем более плотным получится «лист точек». Однако, такую модель можно будет дообучить на реальных данных. На рисунке 4 представлен данный способ получения данных.

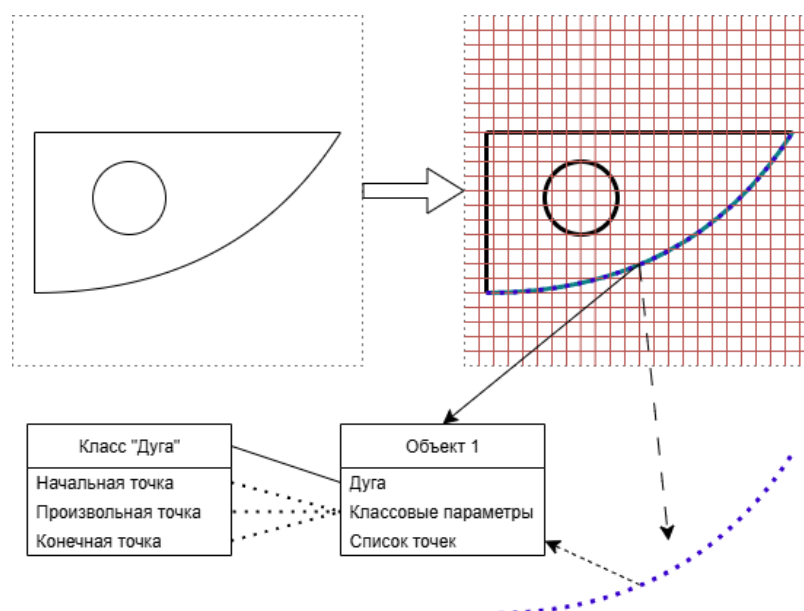


Рисунок 4 – Схема работы алгоритма генерации искусственных данных

У данного метода имеется значительный минус – зависимость от шума данных. Так как извлекаемые данные являются «чистыми» и без шума, полученная модель нейросетевого каскада, обученная на таких данных, не будет применяться для реальных данных. Но можно искусственно зашумлять данные для приближения к реальным измерениям.

Таким образом, сгенерированный через API КОМПАС-3D датасет станет основой для обучения нейросети, способной адаптироваться к реальным облакам точек.

Список литературы

- 1 Qi C.R., Su H., Mo K., and Guibas L.J.. Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation.arXiv preprint arXiv:1612.00593,2016;
- 2 Qi C.R., Yi L., Su H., and Guibas L.J.. Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. In Advances in Neural Information Processing Systems, 2017;
- 3 SDK КОМПАС-3D / [Электронный ресурс] // ASCON : [сайт]. – Режим доступа: https://help.ascon.ru/KOMPAS_SDK/22/ru-RU/applicate.html (дата обращения: 09.09.2025).

ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ

Делиева А.П.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт научно-технической информации», город Донецк

Аннотация: рассмотрены теоретические основы цифровых платформ, изучены их цели и особенности. Проанализирован опыт формирования цифровых платформ в сфере интеллектуальной собственности в России.

Статья может быть полезна представителям федеральных и региональных органов власти, руководителям и топ-менеджерам организационных систем, инвесторам и бизнес-аналитикам, исследователям, ученым и преподавателям.

Ключевые слова: экономический рост, интеграционные процессы, цифровая платформа.

В последние десятилетия технологии быстро развивались, что привело к уникальным цифровым преобразованиям во всем мире. Для организаций всех форм и размеров практически необходимо реализовать цифровой мир. Темпы технологического прогресса не замедляются. Единственный способ оставаться конкурентоспособными в современном мире – это перейти на цифровые технологии. Компании переходят к цифровой трансформации и цифровым платформам, обеспечивая скорость и гибкость, необходимые для конкуренции в текущей бизнес-среде. Многие формы используют цифровые платформы в зависимости от бизнес-модели, которую они используют, и конкретной цели. Простое в использовании и немедленное управление пользователями; надежность и безопасность (требуется гарантии конфиденциальности и владения интеллектуальной собственностью и данными, а также четкие условия); API-соединения, позволяющие третьим лицам расширять экосистему платформы и облегчающие обмен информацией между пользователями (производителями и потребителями); обеспечение ценности для сообщества и в соответствии с размером сообщества (чем больше сообщество, тем больше ценность платформы может быть для всех заинтересованных сторон). Важным аспектом цифровых платформ является масштабируемость без ущерба для производительности.

Создание экосистемы междисциплинарных взаимодействий – главная цель цифровых платформ. Они объединяют несколько групп участников, таких как потребители, производители, продавцы, посредники, поставщики контента и разработчики приложений. Создание цифровой платформы основано на сети и синергии. Чем больше участников присоединяются к платформе, тем больше ценность для каждого участника и тем больше эффект взаимодействия. Все это побуждает новых участников укреплять рост платформы, формируя все больше

и больше возможностей в ее рамках. Создание цифровых платформ имеет различные эффекты за счет снижения транзакционных издержек и приобретения новых качественных продуктов и услуг из-за широкого спектра навыков, доступных участникам платформы.

Экосистема – это современная форма организации сетевого бизнеса, позволяющая направлять инновационный характер независимых разработчиков на управление ресурсами цифровых платформ для автоматизации всех новых бизнес-процессов, и формируется из цифровых платформ. Использование высокоинтенсивных цифровых платформ в сферах экономики и государственного и местного управления коррелирует с мировыми тенденциями в экономике знаний. Интеграция организационных систем на базе цифровых платформ интеллектуальных и производственных ресурсов (промышленные и сельскохозяйственные предприятия, финансовые и научные учреждения, учебные заведения, их ассоциации и ведомства, региональные, промышленные и национальные административно-экономические вопросы) является важной задачей инновационного менеджмента.

Возможность работы с серых зонах данных является важным преимуществом цифровых научно-технических платформ. Большинство стран ЕАЭС столкнулись с тем, что их национальные исследования слабо представлены в мировом индексе. Алгоритмы ИИ, сформированные в разнородных источниках, могут интегрировать эти данные в общий контекст, повышая видимость.

В рекомендациях Всемирного банка подчеркивается важность роли цифровой платформы как одного из четырех приоритетов Стратегии по созданию цифрового пространства в евразийском экономическом пространстве к 2025 году.

Вопросы цифровой трансформации и развития цифровых платформ в российской экономике нашли отражение в работах таких ученых, как Лобачев И.В., Салухов В.В., Буркова Ю.С. [1], Жевняк О.В. [2], Степанова И.С., Воротников А.М. [3], Щелков Н.С. [4], Кириллина Е.В., Борисова Д.В., Стребкова Ж.В., Щукина И.В. [5], Сердюкова Л.О., Баширзаде Р.Р.К., Пахомова А. В. [6], Махмудова Г.Н., Ашуров З.А., Разакова Б.С. [7].

Адаптируясь к местным потребностям и специфике рынка, российские цифровые платформы активно развиваются, ориентируясь на улучшение пользовательского опыта, расширение спектра услуг и внедрение новых технологий. Важной частью стратегии развития некоторых компаний также является интеграция с международными платформами и экспансия на внешние рынки.

Сегодня понятно, что большинство цифровых платформ, созданных не только в России, но и за рубежом, создаются и движутся в сторону быстрого роста. Ведутся согласования нововведений и поиск наилучшего решения. Поскольку большинство аспектов платформы были разработаны, экспоненциальное увеличение географического охвата и ценности экономической активности

таких платформ может быть инициировано путем привлечения новых стран на их орбиту. В рамках своего плана географического расширения многие цифровые платформы рассматривают глобальный рынок как возможность роста и активно развивают географическое присутствие. Российские площадки в этих условиях уже конкурируют с развивающимися мировыми площадками. По нашему мнению, по мере усиления этого типа конкуренции и увеличения стадии прямой конкуренции на некоторых периферийных рынках возрастает возможность значительного усиления существующих военных конфликтов.

Список наиболее популярных в России общественных сайтов в области научной деятельности, научно-технической информации и интеллектуальной собственности:

- открытый архив научных статей «КиберЛенинка»;
- основная база российских изданий РИНЦ (eLibrary.ru) -РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) является крупнейшим фондом российских научных публикаций, интегрированным с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) и реализует функцию поиска статей, журналов и патентов;
- национальная подписка РЦНИ, позволяющая российским организациям получить доступ к международной базе научных знаний;
- крупнейшая российская информационная система: патентная информация - основание Федерального института промышленной собственности, издаваемая литература – ВИНТИ РАН, ИНИОН РАН, ГПНТБ России;
- национальная информационная система научных достижений «Наука и инновации», интегрированная с цифровыми платформами других государств – «Госуслуги», «Электронный бюджет», «ИАС-Мониторинг»;
- платформы некоторых вузов (МГУ, ИТМО, Сколтех);
- сайт «Россия – страна возможностей» представляет отдельные инициативы в различных областях деятельности, включая страновой веб-сайт, науку и инновации;
- портал «Российская наука», является агрегатором информации о грантах, конкуренции и научной деятельности;
- Science ID – платформа для ученых, исследователей и ученых, которые предоставляют инструменты для создания профилей, публикации научных статей и находят сотрудничество и интеграцию с другими службами университета;
- портал «Национальная технологическая инициатива», который поддерживает стартапы и продает разработки;
- IPChain – распределенный реестр прав интеллектуальной собственности и объектов, созданный Компанией по управлению правами, Фондом «Сколково», Высшей школой экономики и Санкт-Петербургским национальным университетом информационных технологий, механики и оптики (ИТМО). Данное

платформенное решение направлено на развитие рынка цифровой интеллектуальной собственности путем создания сервисов по правовой защите, управлению и защите прав на результат интеллектуальной деятельности;

– интегрированная информационная система ЕАПО - это платформа, которая позволяет ЕАПВ внедрять современные информационные технологии в услуги ЕАПВ, обеспечивать новые этапы цифровой трансформации многих процессов в отделе, повышать эффективность и результативность работы с кандидатами, качество поддержки этих систем.

Важным шагом, решившим многие проблемы в сфере интеллектуальной собственности, стало создание специализированного суда по интеллектуальным правам.

Россия также склонна создавать собственную инфраструктуру, чтобы не зависеть от западных платформ. Например, проект Inventorus был реализован путём объединения патентных ландшафтов, публикаций и данных НИОКР в единую базу данных.

Можно сделать вывод, что одним из направлений цифровизации экономики является использование цифровых платформ, позволяющее создавать эффективные коммуникации между экономическими агентами, повышать эффективность бизнес-процессов и конкурентоспособность отечественных рынков, снимать временные, территориальные и языковые барьеры.

Список литературы

1 Лобачев, И. В. Цифровая платформа «Димедус» опыт применения цифровой медицинской программно-аппаратной платформы в образовательном процессе / И.В. Лобачев, В.В. Салухов, Ю.С. Буркова // Вестник военного образования. – 2023. – № 4 (43). – С. 46-50

2 Жевняк, О. В. Цифровые платформы как вид экономических рыночных отношений и отражение этого аспекта в правовом режиме цифровых платформ / О.В. Жевняк // Юридические исследования. – 2023. – № 8. – С. 96-127.

3 Степанова, И. С. Новые возможности для гражданского общества, представляемые цифровыми платформами, на примере цифровой платформы «Арктика 2035» / И.С. Степанова, А.М. Воротников // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2020. – № 1 (1). – С. 51-57

4 Shchelkov N. S. Developing the digital platform strategy in rail freight transportation in Russia / N.S. Shchelkov // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Т. 12. – № 8-1. – С. 75-86.

5 Kirillina, E. V. Digital tools in teaching English language: a case of creating a lapbook on Canva platform / E.V. Kirillina, D.V. Borisova, Zh.V. Strebkova, I.V. Schukina // Science prospects. – 2022. – № 6 (153). – С. 104-106

6 Serdyukova, L. O. Digital platforms for development of innovative transport logistic systems / L.O. Serdyukova, R.R.K. Bashirzade, A.V. Pakhomova // St.Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. – 2020. – T. 13. – № 2. – C. 64-78

7 Makhmudova, G. N. Development of digital ecosystem and formation of digital platforms in Uzbekistan / G.N. Makhmudova, Z.A. Ashurov, B.S. Razakova // π -Economy. – 2022. – T. 15. – № 2. – C. 7-21

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД РАБОТУ С РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ерёмин К.Н., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе предлагается подход модернизации цифровой системы неразрушающего контроля качества сварных соединений трубопроводов под работу с рентгеновским излучением. Рассматриваются структура и возможности существующей автоматизированной системы цифровой радиографии и предлагается вариант ее модернизации, обеспечивающий требуемый уровень безопасности системы.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, контроль качества, цифровая радиография, автоматизированная система, рентгеновское излучение.

Рассматривая известные ручные и компьютеризованные методы неразрушающего контроля (НК), можно предположить, что их комплексирование и оптимизацию целесообразно реализовать в рамках одной автоматизированной системы (АС). В отличие от ручного контроля, автоматизированные системы сканируют объекты намного быстрее и не нуждаются в перерывах. Это не только сокращает время проверки, но и повышает общую производительность за счет непрерывной работы [1].

Такой подход позволит обеспечить повышение эффективности функционирования сложных систем, в частности магистральных и технологических трубопроводов нефтегазовой отрасли, за счет управления их состоянием [2].

В качестве АС неразрушающего контроля качества сварных соединений особое внимание заслуживают комплексы цифровой радиографии, которые интегрируют в себе современные ИТ-системы, такие как PACS-Picture Archiving and Communication System, (TCP/IP, DICOM), SQL Server, Oracle, MySQL и др. Эти ИТ-системы предлагают широкий спектр возможностей для оптимизации проведения контроля с использованием цифровой радиографии.

Действительно, для проведения рентгенографического контроля ручным способом, необходимо иметь проявочное помещение, где разрядка и зарядка рентгеновских кассет происходит вручную фотофоном в полной темноте. Проявка рентгеновских пленок занимает огромное количество времени, ведь каждую пленку необходимо пропустить через химический состав вручную несколько раз, для закрепления результата на снимке. Проведение контроля ручным способом

так же занимает много времени, так как время экспонирования пленки зависит от толщины металла.

В комплексах цифровой радиографии организован процесс синхронизации данных между детекторной пластиной, планшетом и компьютером с использованием проводных и беспроводных технологий, действующих на расстоянии до 100 метров. Временной интервал между регистрацией изображения и его появлением в памяти вычислительной машины не превышает 15 секунд. Применение встроенных алгоритмических решений позволяет программной системе с высокой достоверностью идентифицировать дефекты, характеризующиеся как низкой контрастностью, так и малыми геометрическими размерами. Обработка результатов анализа занимает в среднем одну минуту. Важной особенностью детектора является оснащение его памятью, не требующей постоянного энергоснабжения.

Таким образом, при пропадании сигнала беспроводной сети аппаратное обеспечение сохраняет данные во внутреннем буфере, осуществляя их передачу после реконнекта. В зоне уверенного приема радиограмма может отображаться на планшете в реальном времени или непосредственно после завершения съемки. С целью долговременного сохранения данных и их передачи система может использовать унифицированный международный формат DICOM, регламентированный стандартом ASTM E2339-11 [3].

Формат обеспечивает многослойное хранение данных и защищает цифровые рентгенограммы от последующей подделки за счет применения специальных алгоритмов. К снимку также можно оставить аудиокomentarий, что весьма полезно, если необходимо работать в жару или на морозе [1].

В составе комплекса цифровой радиографии источником ионизирующего излучения F выступает устройство, генерирующее тормозное рентгеновское излучение. Интенсивность этого излучения $J_u(\lambda)$ напрямую зависит от настроек источника, включая ток и напряжение на аноде рентгеновской трубки (рисунок 1).

Методом прошедшего излучения M_{nu} с помощью детектора F_d производится регистрация излучения, прошедшего через объект контроля, интенсивностью $J_{oki}(\lambda)$.

На основе сигналов S_{di} , поступающих от детекторных элементов, модуль M_{kb} получает от преобразователя F_c набор данных, который включает в себя как значения самих сигналов, так и координаты элемента детектора, зафиксированные в момент его облучения D_{di} .

Модуль M_{kb} методом квантования производит запись данных об интенсивности «засветки» каждого элемента изображения D_{di} .

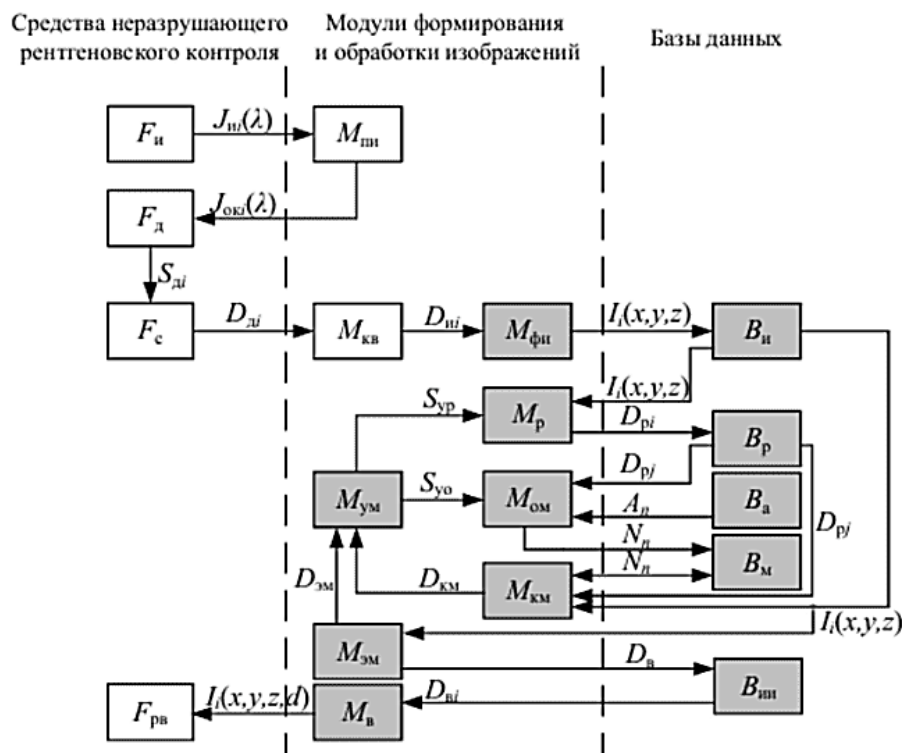


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель комплекса цифровой радиографии

В модуле формирования изображения $M_{\text{фи}}$ производится генерация растровых цифровых рентгенограмм $I(x,y)$ на основе входных данных. Сформированные изображения помещаются в базу данных $B_{\text{и}}$, выполняющую функцию библиотеки визуальных материалов.

Модуль $M_{\text{р}}$, предназначенный для разметки данных, оснащен функционалом фильтрации изображений $I(x,y,z)$ от шумовых артефактов с адаптацией под конкретный тип информации. Это предоставляет специалистам инструментарий для идентификации и категоризации признаков, используемых при создании наборов данных для машинного обучения.

Обученная модель $N_{\text{и}}$ архивируется в библиотеке моделей $B_{\text{м}}$, поддерживающей хранение с указанием версий алгоритмов, ревизий наборов данных и протоколов тестовых испытаний.

Функция автоматизированной верификации искусственных нейронных сетей возложена на модуль $M_{\text{км}}$, который проводит тестирование обученных моделей $N_{\text{и}}$, используя для этого контрольные выборки данных, предоставляемые блоками $B_{\text{р}}$ и $B_{\text{и}}$. Результаты этих испытаний $D_{\text{км}}$ записываются в библиотеку $B_{\text{м}}$ и отправляются в административный модуль $M_{\text{ум}}$ для последующего анализа и управления.

Модуль управления $M_{\text{ум}}$ координирует работу компонентов разметки данных и обучения алгоритмов посредством передачи управляющих команд, а

также регулирует уровни доступа и полномочия для различных категорий пользователей.

Модуль эксплуатации моделей $M_{эм}$ выполняет обработку входящих потоков информации $I(x,y,z)$, реализует функционирование обученных алгоритмов, генерирует и передает результирующие данные $D_{эм}$ в модуль $D_{км}$ для последующего архивирования в библиотеке финальных изображений $B_{ин}$.

Модуль визуализации и поддержки принятия решений обеспечивает графическое представление данных, полученных в ходе обработки изображений. В его функции входит выделение на изображениях аномальных участков, относящихся к определенному классу объектов, и генерация итогового графического представления $I(x,y,z,d)$. Данные выводятся на устройство $F_{выб}$, где оператор комплекса неразрушающего контроля проводит их анализ.

На основании изучения визуализированной информации и нанесенных маркеров оператор комплекса принимает итоговое решение о допуске («Разрешено») или отклонении («Запрещено») [4, 5].

Цифровой комплекс работает в паре с источником ионизирующего излучения (гамма-излучение), что делает его небезопасным при воздействии на человека и окружающую среду. Поэтому существующим версиям комплексов цифровой радиографии присущи следующие недостатки:

- существует риск внутреннего облучения для персонала и окружающей среды из-за радиоактивных изотопов, испускающих гамма-излучение;
- имеет место воздействие на живые ткани, так как гамма-излучение повреждает ДНК и может приводить к развитию у людей рака и других заболеваний;
- требуется постоянный контроль и защита из-за неуправляемости излучения, так как в отличие от рентгеновских аппаратов гамма-источники излучают постоянно;
- гамма-источники характеризуются ограниченным сроком службы и необходимостью утилизации.
- требуется использование массивных экранов из свинца или бетона для защиты от гамма-лучей.

Для устранения недостатков существующих версий комплексов цифровой радиографии в настоящей работе предлагается их модернизация систему под работу с рентгеновским излучением. Это позволит проводить контроль более безопасно для здоровья, а также позволит сократить время экспозиции на цифровую пластину, так как контроль при рентгеновском излучении проводится с просвечиванием через одну стенку контролируемого объекта.

Для этого в структуре автоматизированной системы необходимо провести перенастройку программного обеспечения, а также автоматизировать рентген-

аппарат для работы с цифровой пластиной. Кроме этого, потребуется провести параметрическую оптимизацию системы и испытание макета системы.

Таким образом, модернизация и последующее применение перспективных систем цифровой радиографии на основе комплексирования и оптимизации различных методов контроля представляет собой новый шаг в области неразрушающего контроля, а именно позволяет обеспечить повышение эффективности, точности и оперативности выявления дефектов.

Список литературы

1 Иванов, А. В. Автоматизированные системы неразрушающего контроля сварных соединений в нефтегазовой отрасли / А.В. Иванов, С.К. Петров // Вестник машиностроения, 2022. – № 5. – С. 45-52.

2 Кушнарченко, В. М. Построение автоматизированной системы управления состоянием объектов газотранспортной системы с идентификацией риска / В.М. Кушнарченко, Д.Н. Щепинов, Ю.Р. Владов, А.Е. Пятаев, В.А. Трипкош // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов, 2017. – № 3 (109). – С. 143-153.

3 Волченко, А. И. Автоматизированный ультразвуковой контроль сварных соединений с использованием роботизированных комплексов / А.И. Волченко, Н.А. Волченко, О.А. Драпкин, А.С. Стариков // Сварка и диагностика. – 2021. – № 3. – С. 44-49. – DOI: 10.24077/2021.3.44.

4 Власов, И. И. Цифровые технологии в неразрушающем контроле / И.И. Власов. – СПб.: Политехника, 2022. – 288 с.

5 Климов, П. С. Методы машинного обучения в неразрушающем контроле: дис. канд. техн. наук: 2021 / Климов П.С. – М, 2021.

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СО ВСТРОЕННОЙ ПРОВЕРКОЙ ДАННЫХ

Калинина И.С., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Магдин А.Г., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: представлена новая методика для автоматизации проектирования элементов летательных аппаратов (ЛА), которая базируется на структурированном и формализованном подходе к описанию проектных операций. Особое внимание уделено техникам валидации форм программного средства для автоматизации проектирования, что позволяет снизить количество ошибок при вводе данных и повысить эффективность проектирования, учитывающим специфические черты проектируемых конструкций и особенности их интеграции с российской нормативно-технической документацией и стандартами.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, летательные аппараты, валидация форм.

Разработка и выпуск высокотехнологичных изделий авиационной и ракетно-космической отрасли требует значительных инвестиций в научные исследования и опытно-конструкторские разработки. Для оптимизации процессов ведущие производственные предприятия активно внедряют инновационные технологии автоматизации на всех стадиях жизненного цикла продукции, что существенно сокращает интервал от старта проекта до серийного производства изделия.

Интенсивное применение систем автоматизированного проектирования (САПР) является необходимым условием для минимизации сроков разработки и производства, что напрямую влияет на развитие авиационной и ракетно-космической отрасли и повышение конкурентоспособности создаваемых ЛА. Функциональность современных САПР позволяет осуществлять разработку конструкторской документации, генерацию производственно-технологических материалов, программирование оборудования с ЧПУ, проведение инженерно-технических расчетов и организацию электронного архива технической документации [1].

Особую значимость приобретает автоматизация стадии эскизного проектирования, на которой принимается от 75 % до 80 % основных решений по проекту [2]. В авиа- и ракетостроении системы автоматизированного проектирования применяются для выполнения конструкторских и технологических задач, а также в качестве вспомогательного инструмента при подготовке производства.

Как правило, одно предприятие использует широкий спектр систем – от простых графических программ до высокопроизводительных специализированных программных комплексов. Существующие САПР, хотя и эффективны для решения отдельных задач в области авиа- и ракетостроения, не способны охватить весь спектр процессов, сопровождающих запуск проекта. Это особенно актуально для ранних этапов проектирования.

К числу основных проблем проектной деятельности в авиационной и ракетно-космической отрасли, включая также оборонный сектор, которые можно устранить путем разработки, модернизации или внедрения готовых САПР, относятся высокая степень закрытости работ, связанных с проектированием и автоматизацией проектирования ЛА; сложности в интеграции подходов, реализуемых современными информационными системами, с нормативной документацией, действующей в России (например, ЕСКД); недостаточная проработанность десктопных приложений для расчета характеристик ЛА, отсутствие четкой логики работы и валидации вводимых данных, что увеличивает вероятность ошибок на начальных этапах проектирования.

Используя результаты анализа САПР [3, 4], применяющихся в авиа- и ракетостроении, и особенностей сухих отсеков ЛА, сформирована методика выполнения стадии эскизного проектирования нового или модернизации существующего элемента ЛА с учетом требований заказчика, статистических сведений по данному типу ЛА, общих технических требований, рисунок 1.

Предлагаемая методика включает в себя, в частности, разработку прикладного программного средства, реализующего следующие этапы эскизного проектирования: расчет геометрических характеристик ЛА; расчет массовых характеристик ЛА; расчет аэродинамических и баллистических характеристик ЛА; расчет прочностных характеристик элемента ЛА; построение 3D-модели элемента ЛА в подключаемой с помощью API CAD-системе с её дальнейшим сохранением и редактированием.

Автоматизация этапа эскизного проектирования элемента летательного аппарата, на котором объединяются различные аспекты проектирования, основывается на следующих принципах: итерационный принцип (выполнение требований технического задания реализуется на основе последовательного приближения по результатам моделирования и оптимизации); принцип унификации (использование компактного представления элементов каждого уровня иерархии); принцип контролируемости каждого этапа (контроль правильности выполнения работ на различных этапах проектирования) [4].

Для эффективного решения задач проектирования элементов ЛА разработана клиентская часть программного средства, реализующая интерактивный

пользовательский интерфейс. Приложение обеспечивает динамическую визуализацию расчетов, быструю валидацию вводимых параметров и адаптивное отображение форм в зависимости от выбранного типа проектируемого объекта. Входные данные определяются проектировщиком или техническим заданием на проектирование элемента от заказчика. На этапе ввода входных данных первое действие пользователя – выбор типа ЛА, в зависимости от которого программа выводит на экран набор полей остальных входных данных, характерных для данного типа ЛА (рисунок 1).

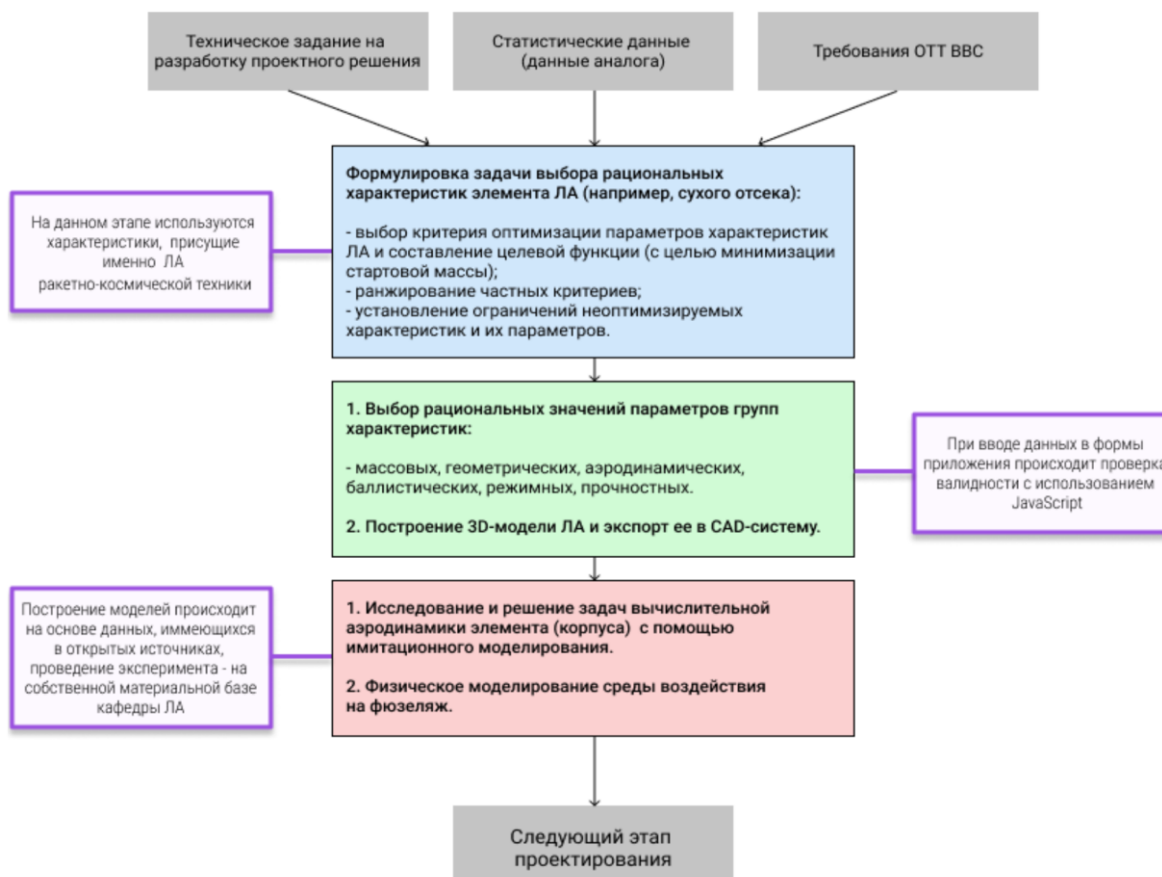


Рисунок 1 – Методика выполнения стадии эскизного проектирования элемента ЛА с использованием средств автоматизации

Для нечисловых значений предусмотрен селект, для числовых – допустимые диапазоны значений, а также проверка значения числа с плавающей точкой с помощью регулярных выражений.

На рисунке 2 приведен пример интерфейса, в данном случае, для расчета геометрических характеристик ЛА.

Проверка согласованности валидаторов входных данных с логикой обработки этих данных программным средством необходима на различных этапах

разработки программных средств, особенно для обеспечения сопровождения этапов проектирования наукоёмкой техники.

Невалидные данные, не удовлетворяющие определённым ограничениям, могут вызвать сбой в работе программы. Отсутствие валидации может привести к невозможности восстановиться после сбоя; дополнительной нагрузке на систему и сложности идентификации причины проблемы.

Для пользовательского интерфейса, через который проектировщик вводит данные о проектируемом отсеке ЛА, в системе предусмотрены следующие типы валидации: посимвольная проверка; проверка отдельных значений; совокупность входных значений; проверка состояния системы после обработки данных (рисунок 2).

APP NAME

Исходные данные

Геометрические

Массовые

Режимные

Прочностные

Аэродинамические

Баллистические

Экспорт модели

Мои проекты

ЭТАП РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Все поля обязательны к заполнению

Ввод дополнительных данных

Средняя объёмная плотность компоновки 1100 кг/м3

Стартовая масса, кг

Удлинение корпуса

Удлинение носовой части

Диаметр корпуса, м

РАСЧЕТ

Геометрические характеристики

Потребный объём корпуса, м3

Относительное удлинение корпуса

Длина корпуса, м

Рисунок 2 – Интерфейс расчета геометрических характеристик

Для проверки валидности в программном средстве сформирована система проверки, представленная функциями и регулярными выражениями, характерными для ввода данных, определяющих параметры ЛА. Это позволяет пользователю корректно заполнить предложенные формы и не допустить критических для расчетов ошибок.

Использование разработанной методики и программного средства позволяет сократить сроки проектирования и повысить качество проектных решений, что является важным фактором в повышении конкурентоспособности разрабатываемой авиационной и ракетно-космической техники.

Список литературы

1 Самошкина, П. Ю. Использование графических программ при проектировании средств технологического оснащения для испытаний на прочность и герметичность изделий ракетно-космической техники / П.Ю. Самошкина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – №13. – С. 86-89.

2 Мышкин, Л. В. Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика / Л.В. Мышкин. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 328 с.

3 Куприков, М. Ю. Автоматизация проектно-конструкторских работ – фундаментальный фактор обеспечения качества жизненного цикла изделий в машиностроении // Новые информационные технологии: тезисы докладов X Юбилейной Международной студенческой школы-семинара. – М.: МГИЭМ, 2002. – С. 48-53.

4 Гайнутдинов, В. Г. Поиск рациональных конструктивных параметров с применением метода конечных элементов / В.Г. Гайнутдинов, Е.В. Касумов // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в Российской авиационной и ракетно-космической промышленности: сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. – КАИ, 2014. – С. 67-70.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Каменев С.В., канд. техн. наук, доцент, Целовальников И.М.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассматриваются аспекты практического использования современных САЕ-систем применительно к решению задач теории механизмов и машин, приведены результаты решения обратной динамической задачи для подъемного механизма гидроцилиндра.

Ключевые слова: САЕ-система, многотельная система, динамика механизма, математическое моделирование.

В современных условиях активной компьютеризации машиностроительного производства всё большее значение приобретают различные системы автоматизированного проектирования, неотъемлемой составляющей которых являются системы инженерного анализа (САЕ-системы). Эти системы, предназначенные для автоматизации инженерных расчетов, предоставляют инженерам-проектировщикам широкий набор инструментов, позволяющих быстро и надежно обосновывать параметры проектируемых изделий. В большинстве случаев САЕ-системы, ориентированные на механическое проектирование, построены на использовании метода конечных элементов либо динамики многотельных систем, хотя в наиболее продвинутых системах возможно комбинирование названных методологических подходов.

В то время как в практике отечественного машиностроения, метод конечных элементов уже достаточно хорошо известен инженерам-механикам и применяется ими для решения практических задач, динамике многотельных систем не уделяется должного внимания. Такое пренебрежение программными инструментами динамики многотельных систем, представляется совершенно необоснованным, так как они могут быть чрезвычайно полезны при решении соответствующих проектных задач, в частности, задач анализа и синтеза механизмов [1]. Примером их эффективного использования может служить обоснование силовых параметров привода подъемного механизма гидроплатформы, служащей для спуска на воду и подъема с неё легких рыболовецких катеров. Изображение гидроплатформы с используемым механизмом подъема приведено на рисунке 1.

Как видно, на приведенном рисунке рассматриваемая платформа представляет собой плоскую раму с установленными на ней ложементами, шарнирно связанную с четырьмя системами рычагов, которые осуществляют подъем и опус-

кание платформы. Движение рычагов управляется гидравлическими актуаторами (гидроцилиндрами), суммарное усилие которых должно обеспечивать перемещение нагруженной платформы. Данное усилие при известных размерах и весе нагруженной платформы и рычагов является априорно неизвестной величиной, определение которой требует решения обратной динамической задачи, сводящейся к нахождению нагрузок, обеспечивающих заданное движение звеньев механизма.

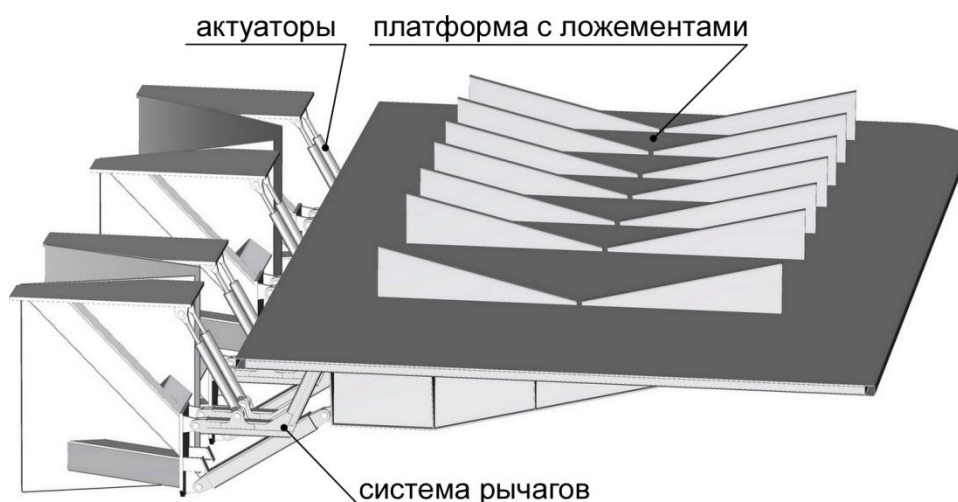


Рисунок 1 – Конструкция гидроплатформы

Решение такой задачи с использованием традиционного математического аппарата теории механизмов и машин требует трудоемких вычислений и не исключает возможности получения ошибочных результатов, что может послужить причиной неработоспособности разработанной конструкции. Поэтому в данном случае поставленная задача решалась с привлечением специализированного САЕ-модуля PLM-системы Siemens NX, предназначенного для моделирования динамики многотельных систем (основанного на решателе RecurDyn). Для этого была разработана соответствующая математическая модель подъемного механизма платформы с использованием следующих допущений:

- рычаги и платформа являются абсолютно жесткими телами;
- опорная поверхность платформы занимает строго горизонтальное положение, которое неизменно сохраняется при ее перемещении;
- силы и моменты трения, действующие в шарнирах, являются пренебрежимо малыми;
- вес груза, поднимаемого платформой, воспроизводится сосредоточенной силой, приложенной к центру тяжести платформы.

Начальным этапом моделирования являлось редуцирование рассматриваемого пространственного механизма в плоский рычажный механизм, приведенный на рисунке 2, возможность чего обоснована параллельным расположением идентичных друг другу систем рычагов. Это редуцирование выполнялось путем простого объединения компонентов сборочной САД-модели механизма (рисунок 1) в звенья многотельной системы в программной среде САЕ-системы. Далее полученные звенья в количестве 5 штук были связаны между собой соответствующими шарнирами, в совокупности обеспечивающими механизму одну степень свободы. Для этого в модель были введены 4 вращательных шарнира (В), 1 поступательный шарнир (П) и 2 цилиндро-сферических шарнира (ЦС).

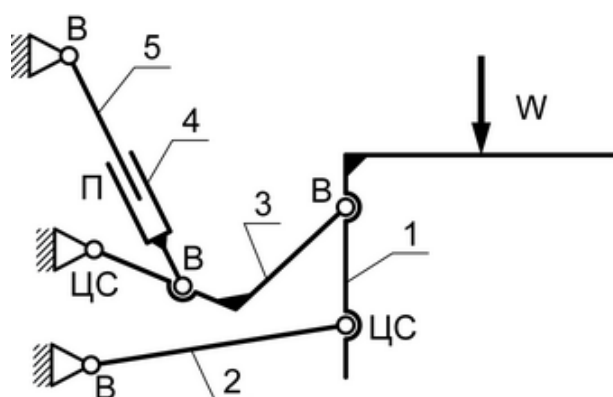


Рисунок 2 – Кинематическая схема эквивалентного плоского рычажного механизма

Симуляция движения платформы осуществлялась путем задания в поступательном шарнире линейных скоростей движения поршня гидроцилиндра относительно его корпуса, что при известной весовой нагрузке, приложенной к платформе, влекло за собой автоматическое вычисление движущей силы, необходимой для реализации движения. Полученные результаты, вычисленные в функции хода поршня для единичного гидроцилиндра, приведены на рисунке 3. Поскольку в разработанной модели движения призматической шарнир представлял собой эквивалент восьми параллельных гидроцилиндров, присутствующих в реальной конструкции, постольку усилие, развиваемое единственным гидроцилиндром, определялось путем простого деления расчетного значения движущей силы на общее количество гидроцилиндров.

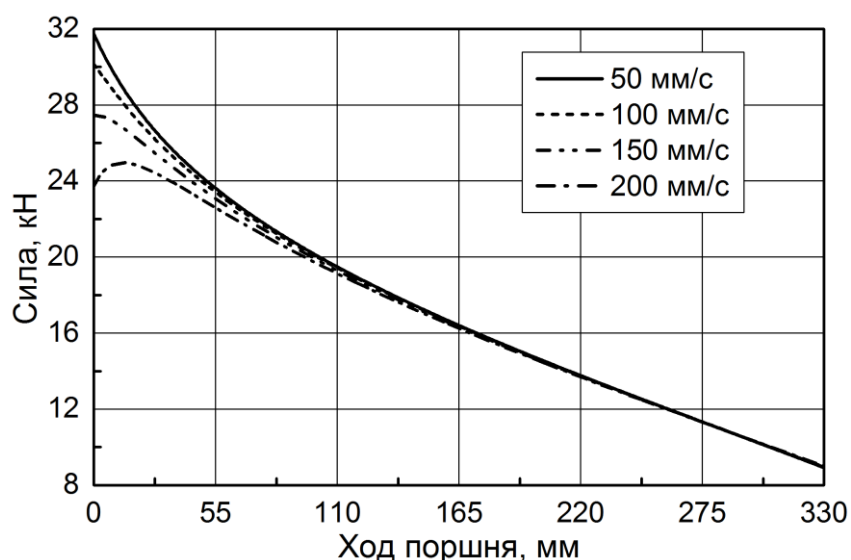


Рисунок 3 – Результаты вычисления усилия гидроцилиндра, необходимого для приведения платформы в движение

Приведенный график позволяет легко подобрать гидроцилиндр, развивающий требуемое усилие, с минимальными затратами времени и вычислительных ресурсов. Кроме того, полученная модель при необходимости может быть использована для расширенного кинематического и динамического анализа механизма. Отсюда следует вывод о высокой эффективности использования CAE-систем, основанных на динамике многотельных систем, и предпочтительности их применения для решения подобного класса задач, имеющих место в инженерной практике.

Список литературы

- 1 Каменев, С. В. Моделирование динамики многотельных систем в производстве машиностроительных изделий / С. В. Каменев, И. М. Целовальников // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф., 16-17 нояб. 2017 г. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 439-443. – 5 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОДИНАМИКА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор, Канчурин Р.Я.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассматривается применение методов вычислительной гидродинамики для решения задач в области проектирования беспилотных летательных аппаратов. Проанализированы и показаны примеры проектов, использующие эти методы.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, вычислительная гидродинамика, CFD, САПР.

Развитие вычислительной техники и теории гидродинамики привело к появлению эффективных методов и программных комплексов численного моделирования динамики жидкостей и газов, объединяемых термином вычислительная гидродинамика. Такие численные эксперименты могут быть как дополнением к натурным экспериментам, так и самостоятельным видом решения прикладных задач.

Высокую значимость вычислительная гидродинамика приобретает в автоматизации проектирования, так как по сравнению с натурным экспериментом предоставляет больший объем формализованной и структурированной информации даже о наиболее малых элементах поля течения.

Вычислительная гидродинамика основана на численном решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Эйлера, или в более общем случае, уравнения Навье-Стокса. Также применяются панельные методы, основанные на линейной теории, и методы полного потенциала скорости.

При проектировании летательных аппаратов средства CFD применяются как для получения интегральных аэродинамических характеристик, таких как коэффициент подъемной силы, коэффициент лобового сопротивления, аэродинамическое качество, так и для исследования потоков в интересующей нас области течения. Включение в анализ других физических явлений составляет задачу мультифизического моделирования, а при дальнейшем обобщении на технические, экономические и другие факторы – мультидисциплинарного исследования.

При проектировании всего аппарата необходимо учитывать значительное число критериев и ограничений. К ним, например, относится технологичность, экономичность, экологичность, эстетичность и др. Многие параметры не только имеют качественное выражение, но и плохо поддаются формализации. В связи с

этим значительно возрастает роль проектировщика. При таком подходе численное моделирование призвано предоставить проектировщику большой объем информации для принятия решений. При этом повышается целесообразность автоматизации проектирования как инструмента обработки этой информации.

Исследования в области численного моделирования газогидродинамических процессов для проектирования летательных аппаратов ведутся различными группами исследователей.

Одним из пионеров области вычислительной гидродинамики (CFD) является профессор Э. Джеймсон, автор концептуальных работ в области CFD и методологии автоматизированного проектирования ЛА. Разработанный им метод сопряженных градиентов для вычисления чувствительности целевой функции по параметрам, широко применяется для оптимизации геометрической формы объектов для минимизации сопротивления в течении вязкой несжимаемой среды [1]. Профессор Пиронно расширил метод для течения Стокса и уравнений Эйлера для несжимаемых потоков [2, 3]. Одной из отличительных особенностей метода является вычислительная эффективность, время итерации слабо зависит от размерности пространства параметров. В работе [4] авторы описывают общие подходы к оптимальному проектированию с использованием вычислительной гидродинамики. Также, Э. Джеймсон разработал на основе своих научных результатов эффективные программные средства FLO и SYN, которые используют ведущие авиапроизводители мира.

Для БПЛА с малыми и средними числами Рейнольдса, винтовой тягой, взаимодействием «винт-крыло/фюзеляж», а также режимами у земли и в городской застройке, традиционная аэродинамическая отработка исключительно в трубе оказывается дорогой и частично неприменимой. Вычислительная гидродинамика позволяет быстро оценивать аэродинамические коэффициенты и моменты, изучать устойчивость/управляемость, оптимизировать геометрию и параметры винтов, прогнозировать эффекты близости земли и взаимодействия потоков от нескольких винтов. Эти выводы последовательно подтверждаются работами с сопоставлением расчётов и эксперимента на реальных БПЛА [5, 6].

Для решения задач применяются различные методы в рамках CFD. Наиболее точный метод основан на прямом численном моделировании (DNS) уравнений Навье-Стокса. Он позволяет разрешить даже мельчайшие вихри и получить полную картину течения, но требует создания сетки, соответствующей размерам этих вихрей. Из-за большого количества элементов сетки метод требует больших вычислительных ресурсов и на практике редко применяется.

В методе моделирования крупных вихрей (LES) крупные вихри рассчитываются явно, а малые моделируются на основе подсеточных моделей турбулентности. Хотя LES метод и упрощает вычисления, но также требует высокоразмерных сеток и больших вычислительных мощностей.

Осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса (RANS) разделяют параметры течения на осредненные и пульсационные. Система уравнений является незамкнутой и для решения требует замыкания различными моделями турбулентностей. Они отличаются между собой точностью описания течения. В работе [7] представлен сравнительный обзор точности различных моделей турбулентности.

Применение RANS для оценки сил, моментов, поля и производных устойчивости и управляемости показаны на примере БПЛА Kahu (NASA NTRS). Сравнение CFD с данными испытаний даёт приемлемую сходимость аэродинамических коэффициентов в широком диапазоне углов атаки.

SST $k-\omega$ модель успешно применяется для решения внешнего обтекания с отрывами и неблагоприятными градиентами давления. Широко используется для моделирования обтекания БПЛА, его эффективность показана в сравнении с результатами натурных экспериментов [5, 7, 8, 9].

Гибридный подход, использующий RANS и LES подходы, называется методом отсоединённых вихрей (DES). Относительно грубая сетка в LES не позволяет правильно разрешить пограничные слои, поэтому в DES в пограничном слое используется модель RANS, а вне него – LES. Такие модели лучше воспроизводят вихри концевых следов, индуцированную скорость и взаимодействия струй винтов. Их эффективность продемонстрирована при моделировании квадрокоптеров [10, 11].

Методы вычислительной гидродинамики находят широкое применение при проектировании беспилотных летательных аппаратов. Анализ работ показывает возможность получения высокой степени адекватности численного моделирования при сеточной сходимости, выборе подходящей для конкретной задачи математической модели и наличия достаточных вычислительных ресурсов.

Список литературы

- 1 Arora, J., Haug, E.J. Methods of design sensitivity analysis in structural optimization / J. Arora, E.J. Haug // AIAA J, 17 (9) (1979). – pp. 970-974.
- 2 Pironneau, O. On optimum profiles in Stokes flow / O. Pironneau // Fluid Mech, 59 (01) (1973). – pp. 117-128.
- 3 Pironneau, O. On optimum design in fluid mechanics / O. Pironneau // Fluid Mech, 64 (01) (1974). – pp. 97-110.

- 4 Jameson, A. Computational fluid dynamics for the 21st century/ A. Jameson, L. Martinelli, J.J. Alonso, J.C. Vassberg, J. Reuther // Springer. – Berlin, Heidelberg (2001). – pp. 135-178.
- 5 Shah, H. CFD Analysis and Experimental Validation of an Unmanned Aerial Vehicle / H. Shah, R.B. Pampala, G. Olivares // AIAA.– 2018. – 15 pp.
- 6 Shafer, T. C., et al. Comparison of Computational Approaches for Rapid Aerodynamic Prediction of the UAV Kahu // NASA Technical Reports. – NASA NTRS, 2014. – 18 pp.
- 7 Nouhaila, O., et al. On the Accuracy of Turbulence Model Simulations of the Exhaust Manifold // Applied Sciences, 2024. – 18 pp.
- 8 Paz, C., et al. CFD analysis of the aerodynamic effects on the stability of a quadcopter in ground effect // ScienceDirect. – 2020. – 13 pp.
- 9 Somashekar, V., et al. Unmanned Aerial Vehicle with Turbulence Models // International Journal of Aviation Aeronautics and Aerospace, 2021. – 20 pp.
- 10 Boston Univ., VFS Forum 75. CFD Validation of Small Quadrotor Performance using CREATE-AV Helios, 2019.
- 11 Lim H., et al. Flow simulation of propeller–airframe interaction using a modified body-force model (BCSL) // ScienceDirect. – 2025. – 13 pp.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЁТА БПЛА И ИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ

Каркаба П.Х., Петрова Е.А., Ондрина В.П.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: разработана информационная система для автоматизации учёта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и комплектующих. Приложение обеспечивает централизованное хранение, структурирование данных, учёт гарантийных сроков и технической документации, что повышает точность, прозрачность учёта и эффективность управления БПЛА на предприятии.

Ключевые слова: БПЛА, автоматизация, база данных, комплектующие, пользовательский интерфейс.

С ростом применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) важной задачей становится автоматизация учёта устройств и их компонентов. Ручной учёт приводит к ошибкам и потере информации. Специализированная информационная система стандартизирует учёт, обеспечивая прозрачность данных и доступ к критически важной информации, такой как сроки гарантии.

Разрабатываемое приложение предназначено для автоматизации учёта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и их комплектующих на предприятии. Система обеспечивает централизованное хранение, структурирование и быстрый доступ к информации о каждом устройстве, его составе, гарантийных сроках и сопутствующей технической документации. Приложение призвано повысить прозрачность, точность и эффективность управления имеющимися БПЛА и их комплектующими, снизить риски потери данных и упростить подготовку отчётности для технических специалистов и руководства.

Возможности приложения:

- ведение справочника БПЛА, в котором предусмотрены функции добавления, редактирования, удаления, хранения записей, а также ссылки на ЕСКД и сборочных чертежей для каждого устройства;
- работа с технической документацией, которая включает в себя добавление и хранение ссылок на документы ЕСКД и сборочные чертежи для каждого устройства;
- формирование отчётов с быстрым поиском и фильтрацией данных по различным критериям;
- контроль целостности данных для исключения дублирования информации за счёт уникальных идентификаторов и связей между сущностями, а также обеспечение актуальности и достоверности данных.

На рисунке 1 представлена даталогическая модель предметной области.

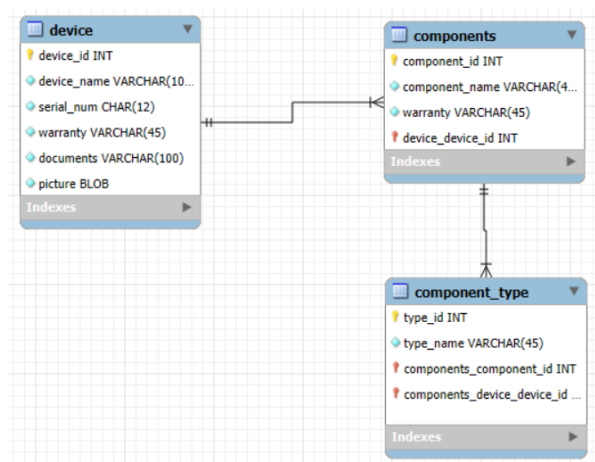


Рисунок 1 – Даталогическая модель предметной области

Для запуска программы необходимо запустить файл проекта «информационная система учета БПЛА мультикоптерного типа.exe», после чего запустить приложение. Окно приложения представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Главное окно приложения

При выборе таблицы «Устройства» пользователя встречает окно, где он может увидеть данные в виде таблицы. Окно представлено на рисунке 3. Кроме того, в данном окне можно выполнить ряд действий: поиск данных, перейти на соответствующую запись и просмотреть ее в удобном окне, добавить новую запись или выйти в главное меню. Данные можно искать по любому столбцу таблицы. Учитываются только полные совпадения. Пример поиска данных представлен на рисунке 4.

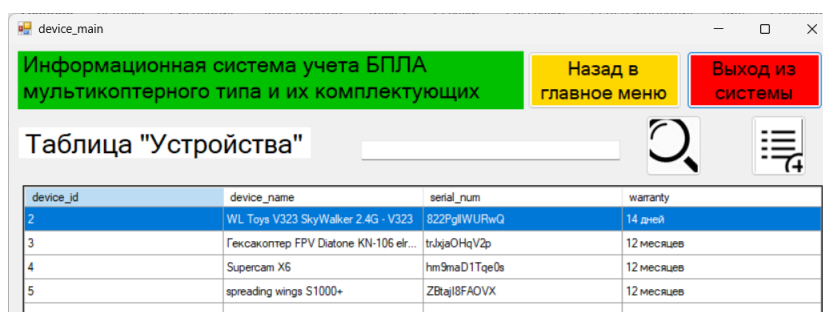


Рисунок 3 – Главное окно таблицы «Устройства»

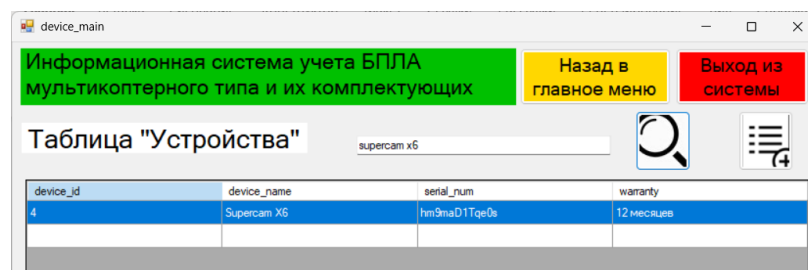


Рисунок 4 – Результаты поиска по таблице «Устройства»

Для добавления записи в таблицу необходимо выбрать кнопку, находящуюся справа от «Поиска», после чего откроется окно, представленное на рисунке 5.

add_device

Информационная система учета БПЛА мультикоптерного

Назад к таблице Выход из системы

Таблица "Устройства" **Добавить чертеж** Сборочный чертеж

Название устройства

Серийный номер

Гарантийный срок

ЕСКД

Сохранить

Рисунок 5 – Окно добавления данных в таблицу

В данном окне необходимо ввести данные в TextBox и добавить чертеж. При нажатии на кнопку добавления чертежа откроется диалоговое окно (рисунок 6) для выбора изображения в форматах jpg, jpeg или png. После ввода данных нажмите кнопку «Сохранить», чтобы зафиксировать запись в таблице; в случае успеха появится сообщение «Данные успешно сохранены». Если пользователь хочет вернуться назад, он может нажать кнопку «Назад к таблице», но получит

предупреждение (рисунок 7) о потере введенных данных. Аналогичное сообщение появится при нажатии на кнопку «Выход из системы». Для просмотра подробной информации о записи необходимо двойное щелчок по ней в таблице, после чего откроется окно записи (рисунок 8).

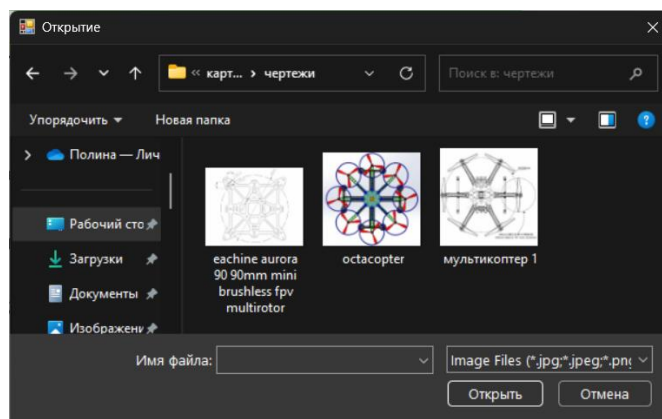


Рисунок 6 – Выбор чертежа для загрузки в базу данных

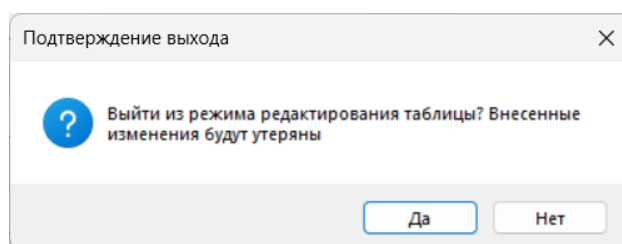


Рисунок 7 – Окно подтверждения выхода из окна добавления записи

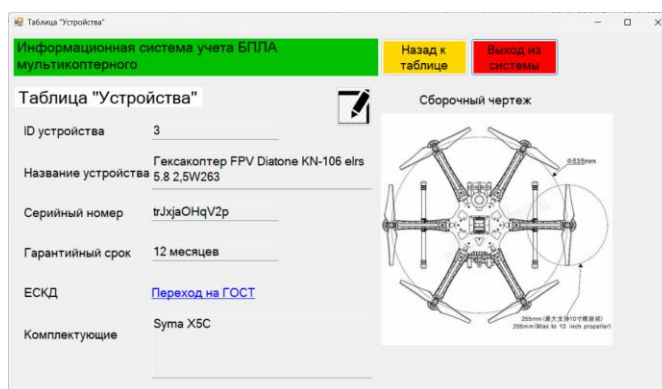


Рисунок 8 – Окно записи из базы данных

Здесь пользователь может просмотреть информацию о конкретном устройстве, перейти на страницу с документацией по ссылке ЕСКД, а также внести изменения в запись. Важно заметить, что для перехода по ссылке требуется подключение к сети Интернет, поскольку является Интернет-ресурсом. При нажатии

кнопки изменения данных, пользователь получает возможность вносить изменения прямо в TextBox. По завершении редактирования необходимо повторно нажать кнопку изменения, после чего появится сообщение об успешном изменении данных как представлено на рисунке 9.

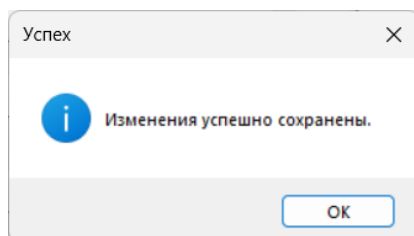


Рисунок 9 – Успешное сохранение изменений

Аналогичным образом можно работать с таблицами «Комплектующие» и «Типы комплектующих». При этом, для таблицы «Типы комплектующих» добавление записей не предусмотрено.

Программа предусматривает обработку ошибок, о которых пользователь будет уведомлен в случае их возникновения.

Например, если поиск не дал результатов или При попытке ввести количество символов, превышающее заданное, программа выведет соответствующие сообщения, представленные на рисунке 10.

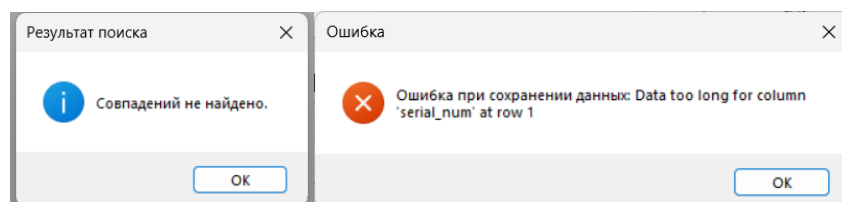


Рисунок 10 – Обработка ошибок

В результате работы была разработана информационная система для автоматизации учёта беспилотных летательных аппаратов и их комплектующих. Созданная база данных и программное обеспечение обеспечивают стандартизацию информации, снижая вероятность ошибок и потерю данных. Автоматический учёт гарантийных сроков и наличие технической документации повышают эффективность эксплуатации и обеспечивают оперативный доступ к информации. Формирование отчётов и классификация компонентов улучшают анализ данных и оптимизируют управление.

1 Мюллер, Джон Пол. М98 С# для чайников.: Пер. с англ. / Джон Пол Мюллер, Билл Семпф, Сфер Чак. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 608 с. – Парал. тит. англ.11. – ISBN 978-5-907144-43-9.

2 Никулин, Е. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с. – ISBN 5-94157-264-6.

3 Порев, В. Н. Компьютерная графика / В.Н. Порев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432 с. – ISBN 5-94157-139-9.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Каскинов И.З., Болдырев П.А., канд. техн. наук, доцент, Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: необходимость в широком внедрении промышленной робототехники утверждена на самом высоком уровне [1]. Концепция Индустрия 4.0 важной задачей при использовании промышленных роботов ставит наполнение их интеллектуальной компонентой, позволяющей существенно увеличить показатели точности, надежности, безопасности в выполнении технологических операций. Для этого реализуются технологии цифровых двойников.

Ключевые слова: цифровой двойник, Индустрия 4.0, 3d-моделирование, интернет вещей, искусственный интеллект.

Любой цифровой двойник (ЦД) предполагает наличие физического и виртуального представления объекта или процесса, являющегося основой данной технологии [2]. Согласно ГОСТ 57700.37-2021 «цифровой двойник изделия; ЦД: Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями» [3]. В нашем случае в технологии ЦД используется промышленный робот Fanuc M-10iD/12, что обуславливает точное воспроизведение параметров данной конкретной модели. Таким образом, оправданным будет рассмотреть основные элементы ЦД промышленного робота исходя из его разбиения на три группы, отражающие физическое и виртуальное представление, а также программно-аппаратный комплекс обработки информации.

Элементы физического представления ЦД. Важнейшим элементом физического представления ЦД промышленного робота в первую очередь будет собственно сам робот модели Fanuc M-10iD/12, представленный на рисунке 1. Данный шестиосный робот обладает самыми высокими показателями осевой скорости и точности в своем классе, что положительно влияет на производительность в решении любых производственных задач, характерных для промышленных роботов. При этом его габаритные характеристики, а также особенности комплектации, включающие полную интеграцию шланг-пакета и кабельного управления (проходящих через полую руку, запястье и корпус робота) предполагают приложение минимальных усилий для разворачивания его на рабочем ме-

сте на производственной площадке [4]. Все эти особенности должны быть отражены в виртуальном представлении ЦД в точном соответствии с паспортными данными.

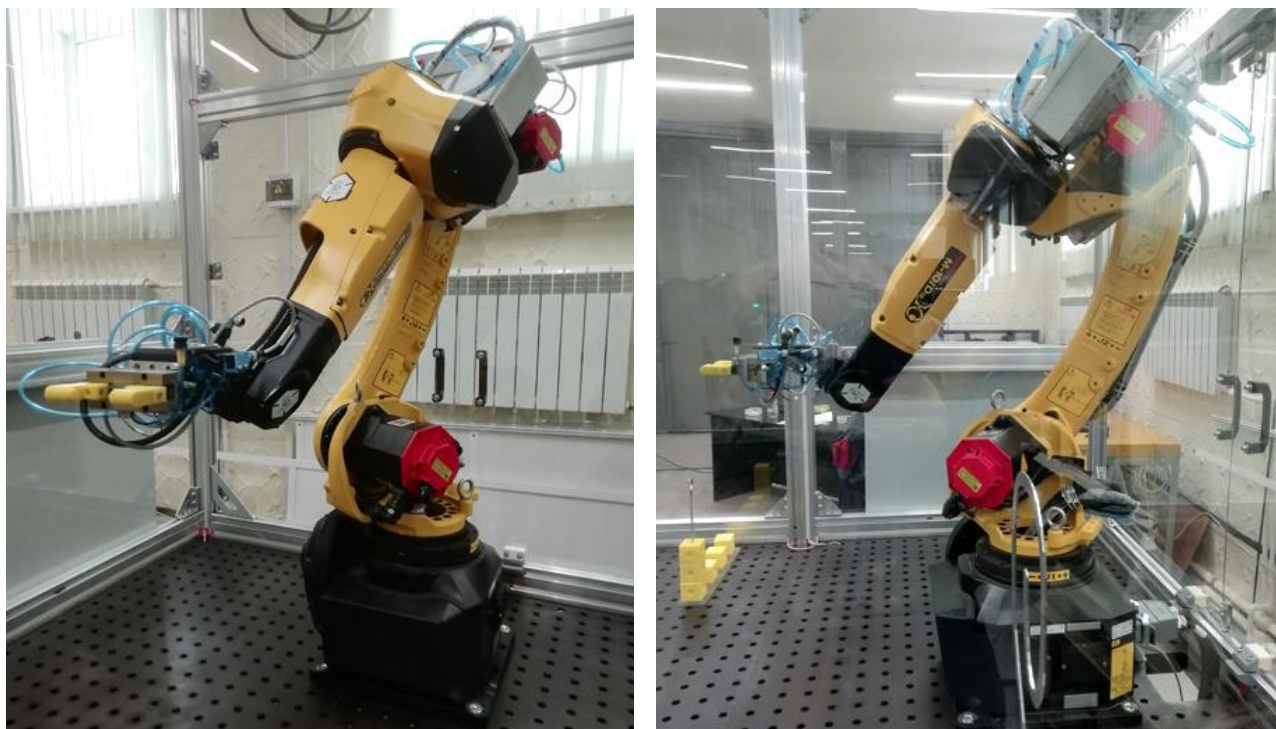


Рисунок 1 – Промышленный робот Fanuc M-10iD/12 на кафедре технологии машиностроения Оренбургского госуниверситета

Также важным элементом физического представления ЦД выступают устройства и датчики интернета вещей (IoT). Из всего разнообразия инструментов, устройств и IoT-датчиков, собирающих данные, для ЦД промышленного робота необходимы следующие: микроконтроллеры и одноплатные компьютеры, видеокамеры, модули определения положения объекта в пространстве, датчики движения, датчики цвета, модули приема-передачи информации, исполнительные устройства (актуаторы), двигатели (сервоприводы), манипуляторы для взаимодействия, релейные устройства, набор светодиодов и RGB-модулей, семисегментные индикаторы, устройства управления, а также прочие электронные компоненты [5].

Элементы виртуального представления ЦД. Необходимым элементом виртуального представления ЦД промышленного робота является его 3d-модель, которую можно разрабатывать в любом графическом редакторе, поддерживающим функцию 3d-моделирования, однако предпочтительно это делать в комплексных программных продуктах с широким функционалом, таких как 3ds Max, Cinema 4D, Blender, Maya, так как это экономит время на процессах собственно

моделирования, а также риггинга (настройки виртуального скелета модели), UV-развертки, цветовой разметки вершин. Для достижения требуемой точности используются чертежи физического представления промышленного робота с последующей настройкой программной логики, исходя из показателей динамических показателей. На рисунке 2 показан результат создания 3d-модели робота Fanuc M-10iD/12 в редакторе 3ds Max 2023. Данный редактор универсален и, в отличие от специализированных приложений, таких как Fanuc Roboguide, DELMIA Robotics, ABB RobotStudio, Process Simulate не имеет привязки к определенному производителю робототехнических решений. Получившаяся 3d-модель робота помимо геометрических, обладает также такими характеристиками детализации, как количество вершин и треугольников – чем их больше, тем 3d-модель точнее, однако и выше требования к вычислительным ресурсам для ее отображения.

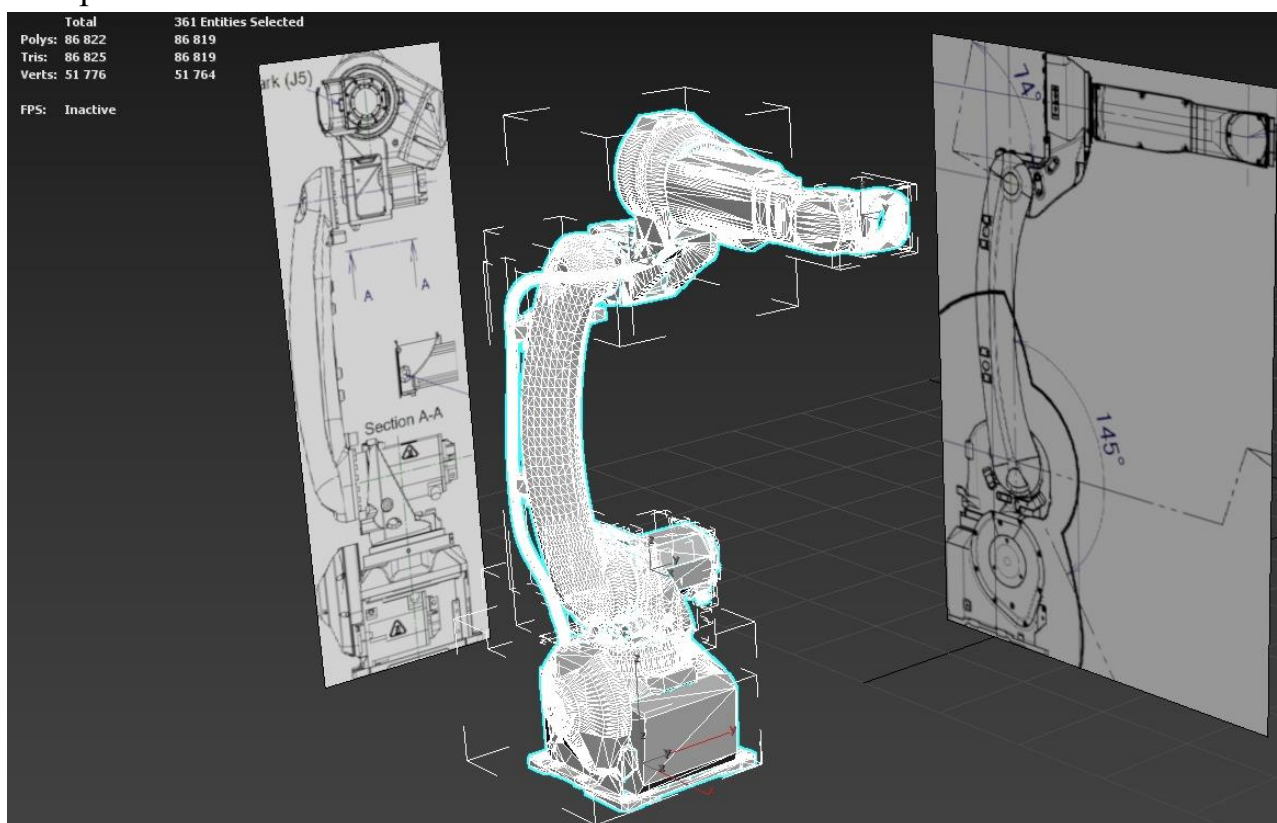


Рисунок 2 – Скриншот рабочего окна в редакторе 3ds Max 2023 с 3d-моделью робота Fanuc M-10iD/12

Созданная таким образом 3d-модель имеет ряд характеристик: количество треугольников и вершин, а также геометрические параметры и внутренние настройки, например, цветовые схемы каждой вершины. И здесь стоит иметь в виду, что с увеличением количества указанных параметров возрастает точность 3d-модели, однако это достигается повышением требований к вычислительным ресурсам компьютеров при их визуализации. Следует соблюдать определенный

баланс, дающий достаточную точность виртуального представления при оптимальных показателях отображения результата на экране пользователя.

Элементы программно-аппаратного комплекса ЦД. Главным элементом ЦД, связывающим физическое и виртуальное представления, является программная логика, выраженная алгоритмами управления каждой из движущихся частей рассмотренной выше 3d-модели промышленного робота. Здесь важно отметить, что для реализации именно технологии ЦД важна связь с физическим представлением робота, реализуемая посредством устройств интернета вещей (IoT), формирующих и отправляющих в виртуальное представление цифровой потоковый сигнал о состоянии робота в режиме реального времени; в противном случае это будет лишь цифровой моделью без возможности непосредственного управления физическим представлением робота. Пример настройки инверсной кинематики виртуального представления промышленного робота Fanuc M-10iD/12 показан на рисунке 3.

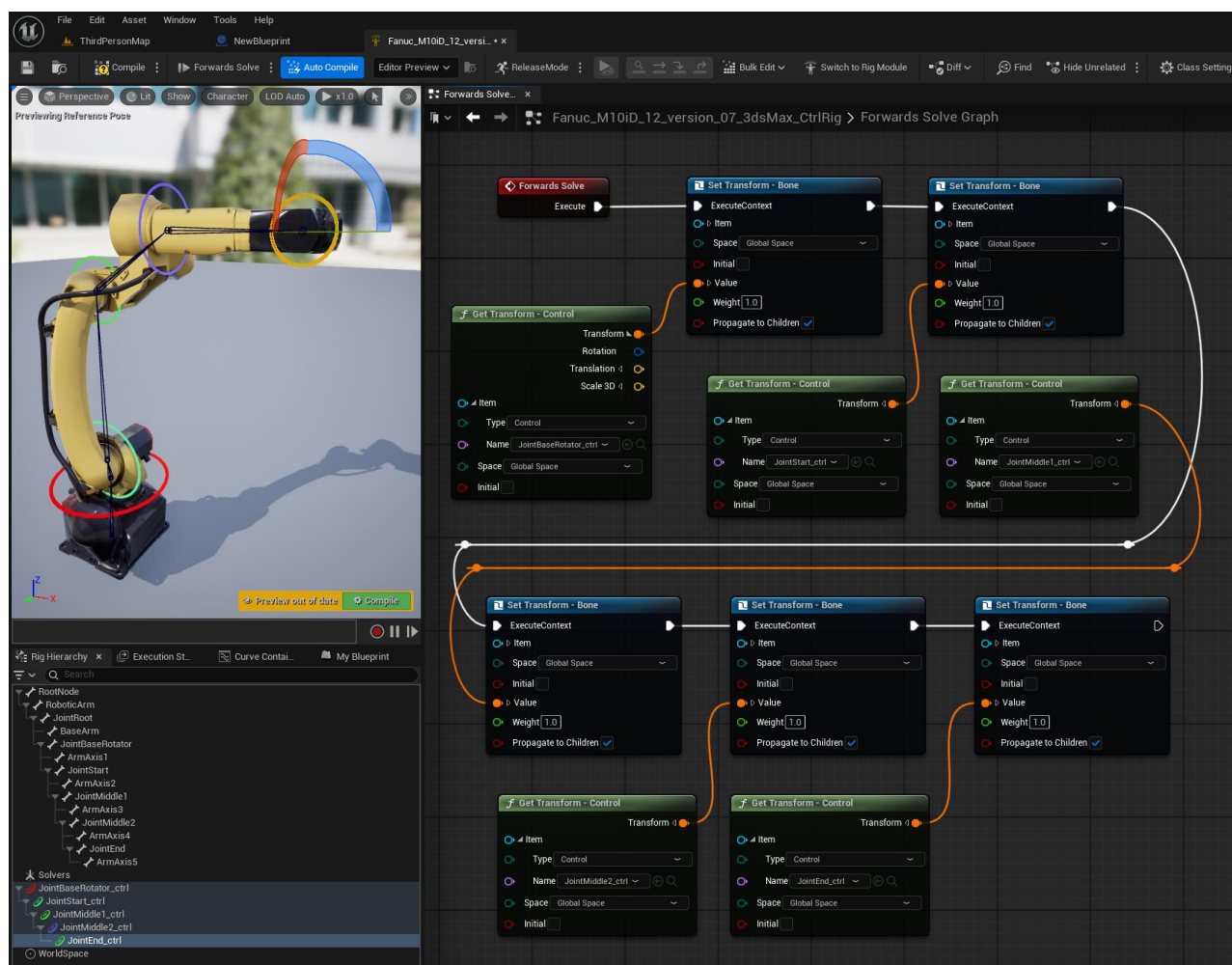


Рисунок 3 – Скриншот рабочего окна в редакторе движка Unreal Engine 5.5 с процессом настройки инверсной кинематики виртуального представления промышленного робота Fanuc M-10iD/12

Весомую роль в качестве элемента программного комплекса в ЦД играет среда разработки виртуального представления. Одним из лучших инструментов реализации программной логики выступают современные игровые движки, такие как Unreal Engine, Unity, CryEngine. В отличие от упомянутых ранее узкоспециализированных приложений (Fanuc Roboguide, DELMIA Robotics и др.), игровые движки позволяют обрабатывать высоконагруженную графику в реальном времени, а также имеют гибкий инструментарий для персонализированной настройки и адаптации алгоритмов, необходимых для взаимодействия виртуального и реального представлений цифрового двойника с учетом управляющих команд со стороны оператора, а также результатов обработки данных методами машинного обучения и компьютерного зрения, что позволяет получить точную математическую модель для формирования полноценных управляющих команд.

Отличительной особенностью движка Unreal Engine являются:

- возможность быстрого прототипирования информационных систем любой сложности посредством нодового программирования;
- интуитивно понятная реализация массивных блоков программных алгоритмов с быстрой компиляцией и хорошей защитой от возможных ошибок (концепция Low-Code и No-Code) [6];
- бесплатный и полностью открытый код, позволяющий легально и безопасно реализовывать персонализированные проекты;
- наличие огромного количества дополнительных шаблонов, ассетов, плагинов и инструкций от сообщества пользователей движка.

Упомянутые в статье 3d-редакторы также входят в элементную базу программной разработки виртуального представления ЦД.

Необходимым элементом аппаратной части являются серверы, персональные компьютеры, планшеты, мобильные устройства, с помощью которых оператор будет взаимодействовать с ЦД промышленного робота.

Выводы. Технология ЦД промышленного робота представляет собой технико-технологическую систему, в которой происходит взаимодействие между физическим и виртуальным представлениями промышленного робота посредством обмена информацией: о текущем состоянии от физического представления к виртуальному и управляющей от виртуального к физическому. Использование этой технологии приведет к значительной экономии ресурсов, позволит предиктивно снижать технологические риски, повышению качества выпускаемой продукции, гибко адаптировать промышленного робота под разные задачи [7].

Список литературы

- 1 Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Собрание законодательства РФ, 13.05.2024, №20, ст. 2584.
- 2 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2024. Foundational Research Gaps and Future Directions for Digital Twins. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26894> (accessed May 21, 2025).
- 3 ГОСТ 57700.37 – 2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. № 979-ст. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 11.09.2025).
- 4 [КЕЙС] Робот Fanuc на кафедре технологии машиностроения в Оренбургском госуниверситете [Электронный ресурс]: <https://top3dshop.ru/blog/fanuc-robots-in-ogu-case-of-study.html?srsltid=AfmBOopl9UaICxHLRwHB-ZEL2iXlqpebM3rg64byP5ahAzXbLznZADyW->
- 5 Ковтун, М. В. Робототехника и автоматическое управление / М. В. Ковтун // Теория и практика современной науки. – 2023. – № 4 (94). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/robototekhnika-i-avtomaticheskoe-upravlenie> (дата обращения: 10.09.2025).
- 6 What is low-code/no-code application development? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/technology-platform/build/what-is-low-code-no-code.html>
- 7 Malik, A.A., Shao, G., Tarakhovsky, J. "Digital Twins for Robot Systems in Manufacturing." 2024. In: Grieves, M., Hua, E.Y. (eds) Digital Twins, Simulation, and the Metaverse. Simulation Foundations, Methods and Applications. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69107-2_13 (accessed May 15, 2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Кашина Ю.В., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: рассматривается проблема автоматизации процессов очистки питьевой воды, которая становится все более актуальной на фоне растущих требований к качеству водоснабжения. Предлагаются проектные решения по внедрению современных отечественных средств автоматизации в существующие системы водоснабжения.

Ключевые слова: питьевая вода, очистка воды, автоматизированная система, фильтровальная станция.

В современных промышленных условиях автоматизация технологических и производственных процессов является ключевой задачей для большинства предприятий. Внедрение автоматизированных систем позволяет существенно повысить не только эффективность, но и качество производства.

В связи с ростом масштабов производства в водоемких отраслях (пищевой, химической, металлургической и др.) особенно актуальной становится задача организации подачи больших объемов воды. Для этого необходимо развитие систем водоподготовки.

Очистка воды – это процесс устранения вредных химических веществ, твердых частиц, биологических загрязнителей из источников водоснабжения. Водоочистка осуществляется на специально отведенных установках на фильтровальной станции.

Целью работы является повышение эффективности и безопасности ведения технологического процесса очистки питьевой воды за счет разработки автоматизированной системы управления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ существующего технологического процесса очистки питьевой воды;
- библиометрический анализ темы исследования;
- выявление недостатков существующей системы автоматизации;
- разработка проектных решений по автоматизации очистки воды.

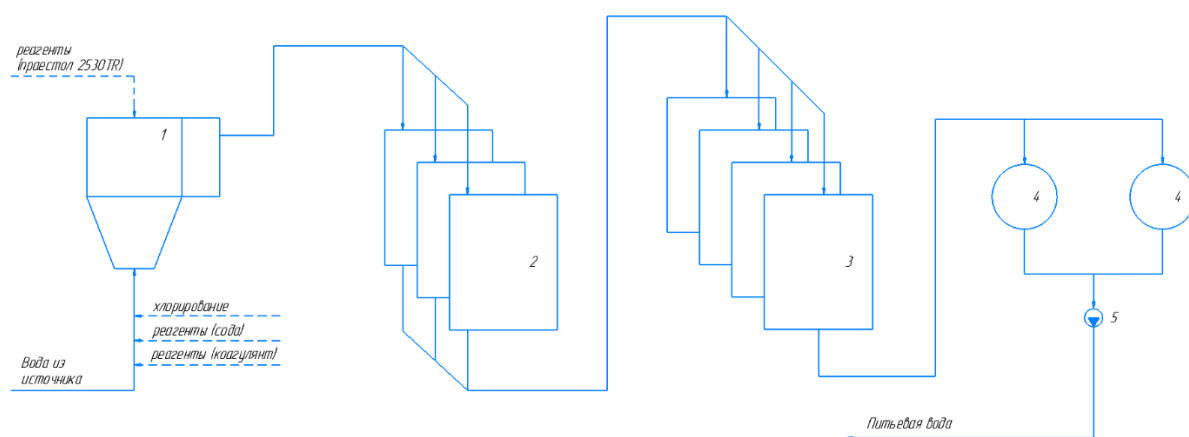
Объектом исследования является типовая фильтровальная станция, производительность которой является переменной и зависит от качества воды источника.

Согласно проведенному анализу, в процесс производства питьевой воды входят следующие этапы очистки: коагуляция, обеззараживание, осветление и фильтрация [1].

Для улучшения процесса коагуляции предусмотрено хлорирование воды раствором гипохлорита натрия марки А [2]. В зимний период дополнительно применяется флокулянт – праестол 2530TR. В паводковый период предусмотрено подщелачивание воды раствором соды кальцинированной.

Рассмотрим технологический процесс очистки воды. Вода из источника водоснабжения по трубопроводу подается в нижнюю часть смесителя, где за счет турбулентного движения обеспечивается ее полное смешивание с введенными реагентами. Затем вода через кольцевой лоток поступает в карман и далее на осветлители, после чего фильтруется на скорых фильтрах. Очищенная вода собирается в подземных резервуарах, из которых насосами второго подъема подается потребителям.

Технологическая схема процесса очистки питьевой воды представлена на рисунке 1.



1 – смеситель; 2 – осветлители; 3 – фильтры; 4 – резервуары; 5 – насосы 2-ого подъема.

Рисунок 1 – Технологическая схема процесса очистки воды

Для проведения библиометрического анализа используется научная электронная библиотека eLIBRARY. Осуществлен поиск работ и публикаций по следующим ключевым фразам: «Автоматизация очистки воды», «Технологический процесс очистки питьевой воды» и «Фильтровальная станция воды». Период поиска – с 2015 по 2025 годы.

Для графического представления результатов библиометрического анализа используются различные виды диаграмм. На рисунке 2 представлено процентное соотношение публикаций по формулировке запроса.

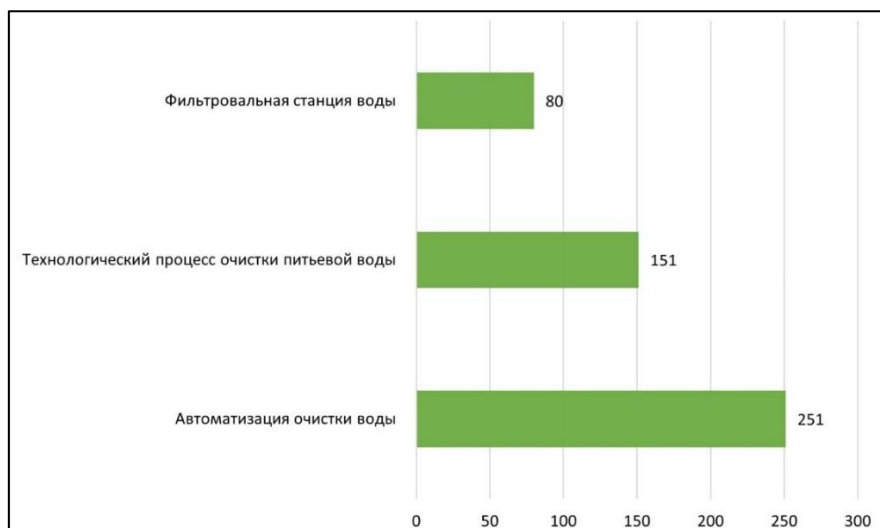


Рисунок 2 – Процентное соотношение публикаций по запросам

На рисунке 3 приведен пример графического представления динамики изменения количества публикаций по теме исследования с 2015 по 2025 годы.

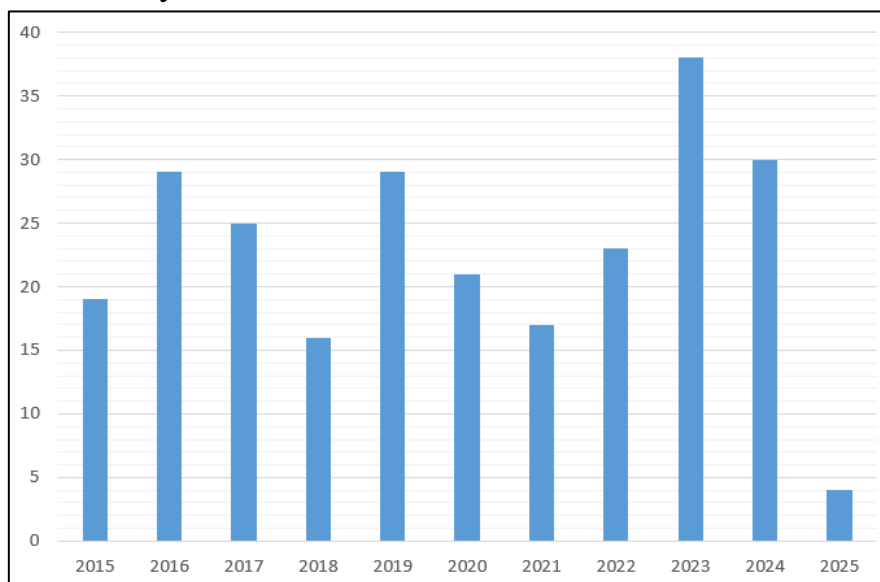


Рисунок 3 – Динамика изменения количества публикаций

Устойчивый рост публикационной активности наблюдается на протяжении всего рассматриваемого периода, однако особенно заметный скачок произошел в 2023 году. Этому могло поспособствовать ужесточение экологических норм и стандартов качества воды, развитие цифровых технологий и IoT, а также повышенное внимание к проблемам чистой воды после пандемии.

Таким образом, тема остается актуальной и востребованной в научном сообществе и ожидается появление новых технологических решений в ближайшие годы.

На основе выполненного анализа технологического процесса и действующей системы автоматизации сформулируем ее недостатки:

- использование устаревшего оборудования с низкой точностью и надежностью, что приводит к перерасходу реагентов и снижению качества воды;
- применение импортного оборудования, отсутствие технической поддержки в случае санкционных ограничений;
- отсутствие контроля состояния опасных химических реагентов, что создает риск возникновения аварийных ситуаций во время ведения технологического процесса;
- работа дозирующих агрегатов и смесителя с фиксированной скоростью, что приводит к неравномерной подаче реагентов, нестабильному качеству воды и преждевременному износу оборудования;
- отсутствие централизованного мониторинга и SCADA-системы;
- наличие высокой доли ручного труда и человеческого фактора.

Для повышения качества питьевой воды и безопасности ведения технологического процесса необходимо осуществить модернизацию действующей системы управления и внедрить АРМ оператора [3].

На рисунке 4 представлена предлагаемая функциональная схема автоматизации технологического процесса очистки питьевой воды.

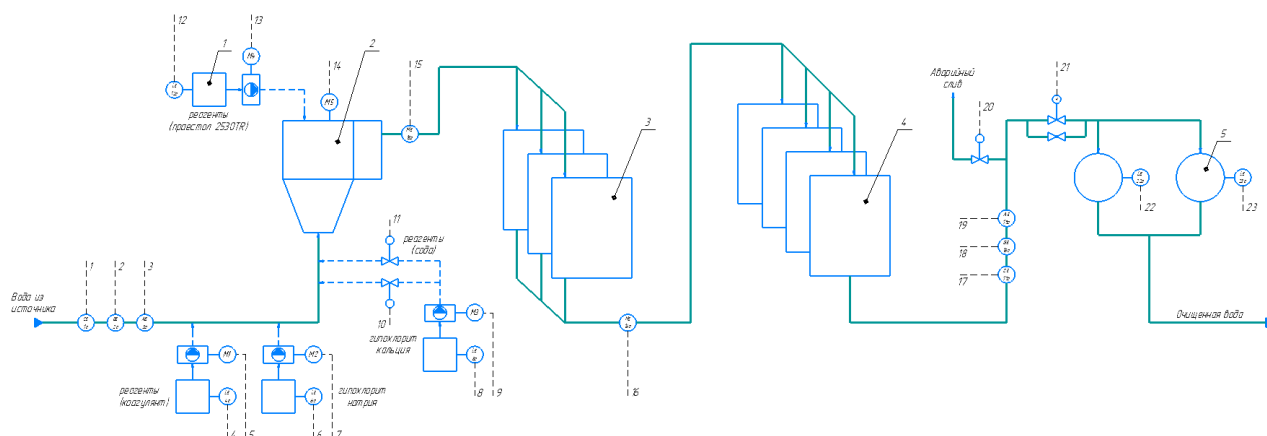


Рисунок 4 – Функциональная схема автоматизации

Разработанная система автоматизации предусматривает автоматический контроль уровня воды в резервуарах с помощью датчиков уровня, регулирующее воздействие которых поступает на запорно-регулирующий клапан, изменяющий подачу воды.

Контроль исходных параметров воды из источника водоснабжения осуществляется с помощью анализатора цветности, датчика измерения содержания хлора и анализатора воды, который может одновременно исследовать несколько параметров: мутность, температура, водородный показатель, общая минерализация.

Уровень реагентов в баках поддерживается с помощью датчиков уровня.

Для автоматического расчета и подачи реагентов на различных этапах технологического процесса применяются дозировочные агрегаты. Повышение точности их работы достигается за счет внедрения частотных преобразователей. Также предлагается установить частотный преобразователь на двигатель смесителя для эффективного смешивания реагентов с водой и регулирования скорости вращения.

Для автоматического контроля эффективности смешивания реагентов с водой в смесителе и на операции осветления используются датчики мутности воды.

Проверка соответствия питьевой воды нормам СанПиН [4] происходит с помощью анализатора цветности, датчика измерения содержания хлора и анализатора воды. В случае, когда показатели не соответствуют нормам, происходит автоматическое перекрытие клапана с электродвигателем, отключение насосов и аварийный слив воды через задвижку с электроприводом.

Таким образом, внедрение предлагаемой автоматизированной системы управления позволяет минимизировать участие человека в технологическом процессе, увеличить межремонтный цикл работы технологического и электрооборудования за счет снижения динамических нагрузок на дозировочные агрегаты и трубопроводную арматуру. Также система обеспечивает повышение безопасности и стабильности качества питьевой воды за счет непрерывного мониторинга за технологическим процессом при помощи SCADA-системы.

Список литературы

- 1 Фрог, Б. Н. Водоподготовка: учеб. пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко // Издательство МГУ. – 1996. – 680 с.
- 2 ГОСТ 11086-76. Гипохлорит натрия. Технические условия. – Введ. с 01.07.1977. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 6 с.
- 3 Вальков, В. М. Автоматизированные системы управления процессами / В. М. Вальков, В. Е. Вершин 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Политехника, 1991. – 269 с.
- 4 СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – Введ. с 26.09.2001. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНСТРУИРОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Клецова О.А., канд. техн. наук, Сергиенко С.Н., канд. техн. наук,
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
Жукова Д.М.
Государственное автономное профессиональное учреждение «Медногорский индустриальный колледж»**

Аннотация: в работе рассмотрены современные аспекты применения прогрессивного энергоэффективного оборудования для высокоточного изготовления и обработки деталей квадрокоптеров.

Ключевые слова: лазерный станок с числовым программным управлением, деталь, обработка, квадрокоптер, технологии, конструирование.

Машиностроение входит в авангардную тройку отраслей промышленности Российской Федерации, и играет важную роль не только в развитии ее экономического благополучия, но и в формировании научно-технического наследия страны.

Передовые технологические разработки, например, такие как производство высокотехнологичных устройств – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (квадрокоптеров), нельзя осуществить без использования деталей машин, которые разрабатываются, производятся и выпускаются машиностроительной отраслью.

В настоящее время квадрокоптеры применяются для обследования и контроля воздушных, земных и водных объектов нашей планеты, исследования поведения популяций животных и растений, оценки ущерба и контроля ситуаций во время стихийных бедствий и катастроф, обследования состояния дорог и соблюдения правил движения по ним, а также для оценивания и прогнозирования урожайности.

Современные технологии позволяют изготавливать квадрокоптеры, которые обладают многообразием моделей и конструкции. Чаще всего их изготавливаются на станках с ЧПУ, либо литьем под давлением или с применением аддитивных технологий, например, методом 3D-печати.

В стандартном виде конструкция квадрокоптера состоит из рамы, к которой крепятся все необходимые комплектующие, поэтому она и подвергается всевозможным изменениям и модернизациям. Наиболее популярные формы рам для коптеров представлены на рисунке 1.

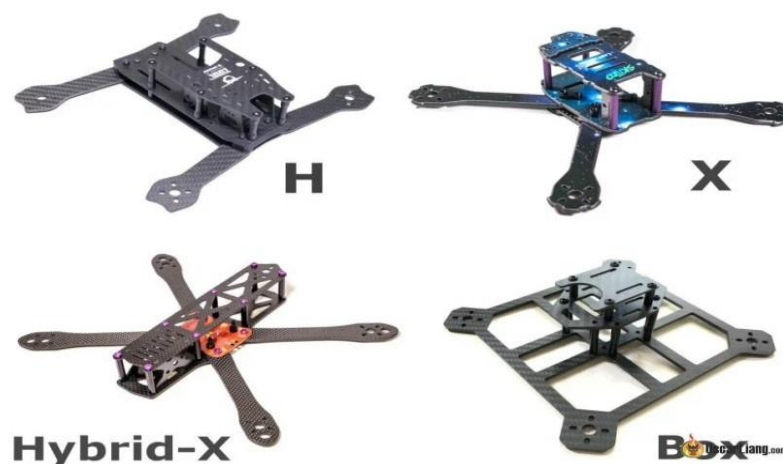


Рисунок 1 – Популярные конструкции рам для квадрокоптеров

На базе изученной литературы [1, 2] были сделаны выводы о преимуществах использования в качестве рамы – сборной конструкции из листовых деталей, изготовленных на лазерном станке с ЧПУ – серии Cutter ML методом лазерного раскроя из листового материала – авиационной фанеры. Донором оборудования для проектируемой рамы стала модель FPV коптера, обладающая всеми необходимыми функциями, фирмы INSENDIO – XT105.

Разработка конструкции рамы под уже имеющее оборудование, а также её расчеты на прочностные характеристики были выполнены в программе Компас-3D с помощью модуля APM FEM.

В качестве сил, оказывающих воздействие на конструкцию рамы, были приняты следующие силы: сила тяжести (которая складывалась из массы рамы, и оборудования, используемого в данной модели), и сила тяги, которая обеспечивается четырьмя бесщёточными моторами 1503. Сила тяги одного мотора 58,4 Н, масса 8 грамм, масса коптера в сборе составила – 170 грамм. Значит на лучи аппарата будут действовать сила тяги – 58,4 Н направленная вверх и сила тяжести 0,8 Н направленная вниз, в центральной части будет сосредоточена сила тяжести всего квадрокоптера 1,7 Н, вектор ее приложения направлен вниз. Для упрощения расчетов было принято решение считать, что общая масса конструкции сосредоточена в центре разрабатываемой конструкции, и конструкция рамы и силы прикладываемые к ней симметричные.

Исходя из данных упрощений, принято решение рассматривать для расчета всего один луч с указанием силы, воздействующей на него, и так же четверть платформы, расположенной в центральной части рамы с четвертью, указанной на центральную часть силы. Крепление лучей к платформам при помощи нейронных стоек в расчете рассматривается как закрепление-заделка.

Графическое отражение всех произведенных расчетов на прочностные характеристики, а также векторы сил, приложенные к деталям, отражены на рисунках 2 и 3.

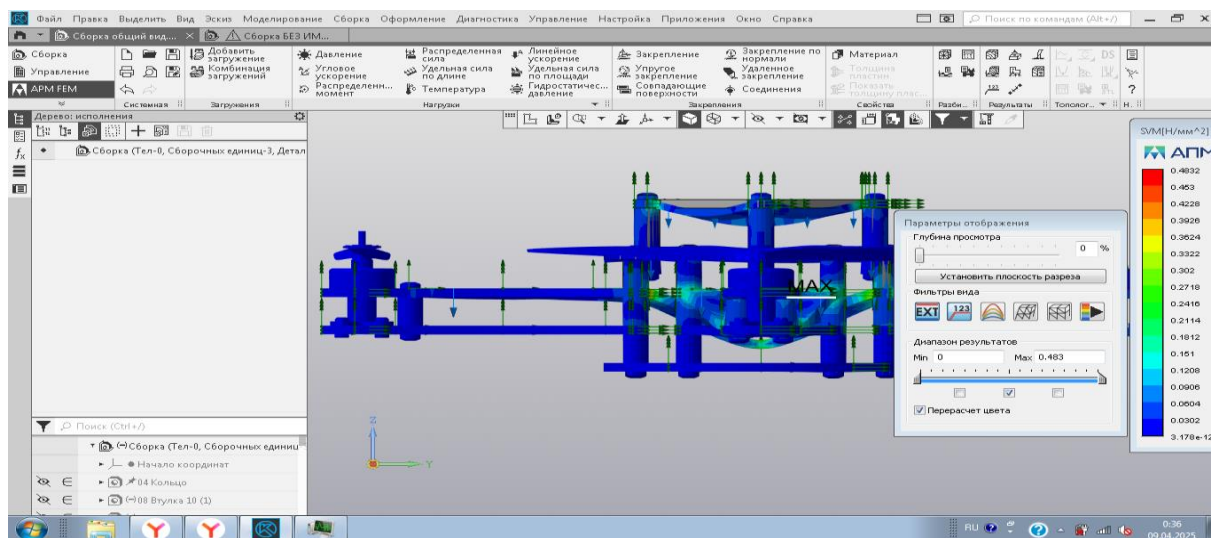


Рисунок 2 – Расчет рамы коптера на прочность, вид сбоку

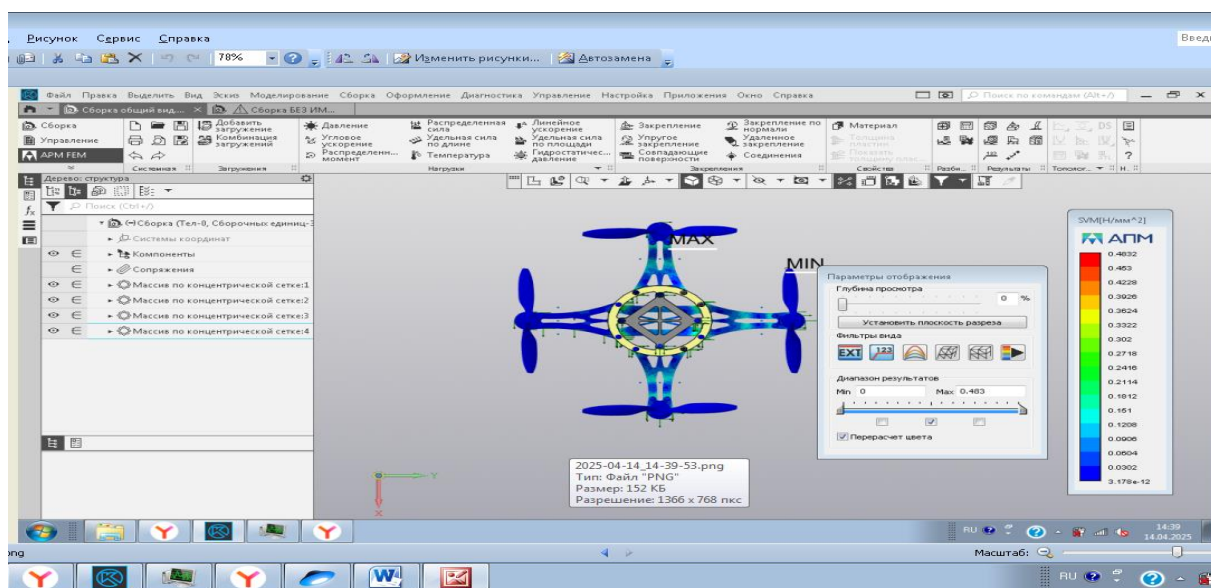


Рисунок 3 – Расчет рамы квадрокоптера на прочность, вид сверху

Детали рамы представляют собой плоские сложные обтекаемые геометрические листовые поверхности, на которых выполнены отверстия для крепежных элементов, и для размещения устанавливаемого оборудования и аппаратуры. Геометрические размеры выполненных отверстий принимаются в соответствии с ГОСТ 11284-75. Для снижения веса проектируемых деталей, на них были выполнены дополнительные отверстия сложных геометрических форм.

Технологический процесс изготовления деталей рамы включал в себя 138 разнообразных операций. В качестве режущего инструмента применялся комплекс устройств – лазерная трубка 80 Вт и лазерная головка с фокусными линзами. Данные инструменты позволили достичь точности изготовления 0,01 мм, что соответствует чистовой обработке.

Проверку точности изготовления деталей осуществляли вручную с помощью измерительных инструментов и методов, которые позволили оценить соответствие реальных размеров деталей и параметров заданным на чертежах.

Сборка рамы осуществляется вручную. Для сборки использовались нейлоновые втулки М3. В собранном виде рама представлена на рисунке 4.

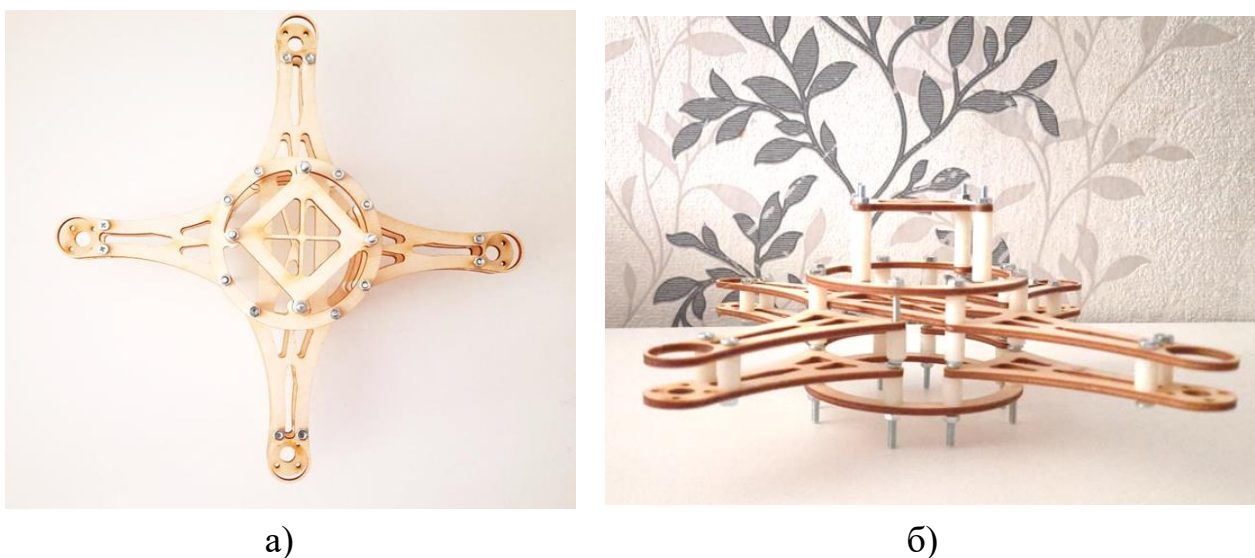


Рисунок 4 – Рама квадрокоптера в сборке: а) вид сверху, б) вид сбоку

Таким образом, в работе при помощи современных цифровых программных средств выполнен расчет и разработана конструкция рамы для пяти дюймового квадрокоптера. Разработан технологический процесс изготовления данной конструкции с применением станка с ЧПУ. Осуществлена проверка точности ее изготовления, после чего рама была собрана в единое устройство.

Список литературы

1 Ахатов, А. Р. Современные квадрокоптеры. Технические характеристики. Исторический обзор: КОНЦЕПЦИЯ «ОБЩЕСТВА ЗНАНИЙ» В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ: сборник статей / А.Р. Ахатов // Международная научно-практическая конференция (3 июля 2018 г., г. Казань). – Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2018. – С. 10-16. – ISBN 978-5-907069-41-1.

2 Кочкаров, А. А. Некоторые особенности применения малых и сверхмалых беспилотных летательных аппаратов: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции молодых конструкторов и инженеров «Минцевские чтения», посвященной 120-летию со дня рождения академика А. Л. Минца и 60-летию аспирантуры Радиотехнического института / А.А. Кочкарев. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 301 - 304.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОНОВОК ГПС НА БАЗЕ ХОНИНГОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Кульга К.С. д-р техн. наук, профессор, Кадргулова Р.Ш., Гуров И.С.,
Халилов С.Ф.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Уфимский университет науки и технологий»

Аннотация: в статье описывается методика структурного синтеза компоновок гибких производственных систем с предложенными основным (хонинговальный станок с ЧПУ нового поколения) и вспомогательным технологическим оборудованием. Актуальность предложенной методики заключается в том, что она позволяет повысить технико-экономические показатели проектов ГПС для хонингования партий деталей в условиях цифровой трансформации высокотехнологичных производств.

Ключевые слова: хонингование, хонинговальный станок с ЧПУ, ГПС, структурный синтез.

Существуют технологические операции механической обработки, для которых необходимы металлорежущие станки с ЧПУ нового поколения. Одной из таких технологических операций является хонингование. Хонингование – вид абразивной механической обработки цилиндрических поверхностей, который позволяет: устранять шероховатости на поверхности заготовок; корректировать геометрическую форму и повышать точность габаритных размеров заготовок; в блоках цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС) получать требуемый угол хонинговальной сетки.

Структурный синтез компоновки ГПС осуществляется на стадии эскизного проектирования/технического предложения (далее, на ранней стадии проектирования) после изучения конструкторских и технологических требований для изготовления деталей и сборочных единиц (ДСЕ), базового технологического процесса (ТП), определения программы выпуска ДСЕ и показателей экономической эффективности. Эта стадия проектирования является самой ответственной, так как от правильности выбора компоновки ГПС во многом зависит успех проекта в целом.

Цель работы. Структурный синтез компоновок ГПС на базе хонинговальных станков с ЧПУ для механообработки партии ДСЕ на ранней стадии проектирования.

Для достижения сформулированной цели были решены следующие задачи:

1. *Анализ конструкций и базовых ТП партии ДСЕ.* В состав партии были включены следующие ДСЕ: а) «Гильза», материал заготовки – сталь 38ХС

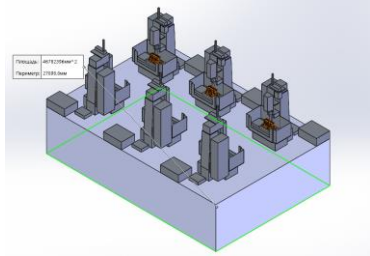
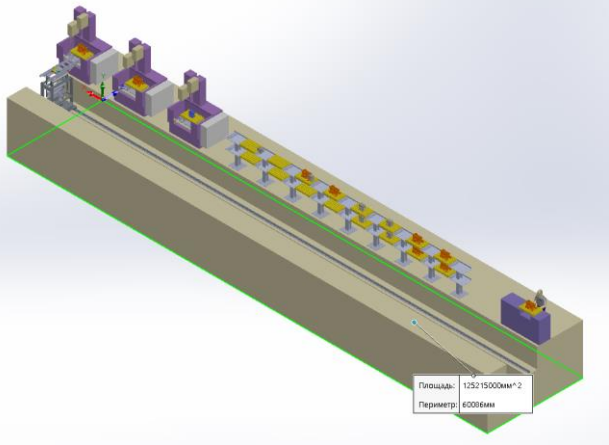
(ГОСТ 4543-71), тип заготовки – круг калиброванный Ø33 (ГОСТ 7417-75), после хонингования допуск на размер отверстия $\text{Ø}17,8^{+0,05}_{+0,02}$ мм, шероховатость $Ra = 0,4$ мкм; б) «Блок цилиндров ДВС», материал заготовки – чугун СЧ 18-36 (ГОСТ 1412-85), после хонингования допуск на размер отверстия $\text{Ø}82^{+0,05}$ мм, $Ra = 0,63$ мкм. Тип производства: массовое.

В базовом ТП в операции хонингования партии ДСЕ используется гидравлический хонинговальный станок [1]. Главными недостатками данного станка является отсутствие: перемещений ДСЕ по осям X и Y; гибкой регулировки скорости вращения шпинделя и возвратно-поступательного движения инструмента; активного контроля хонингования отверстия и системы ЧПУ.

2. *Обоснование компоновки станка.* В новом ТП в операциях хонингования заданной партии ДСЕ обоснован выбор двух хонинговальных станков с ЧПУ: Nonmaster NM15 (далее, NM15) и Nonmaster NM20D (далее, NM20D) [2].

3. *Обоснование структуры компоновки ГПС.* В таблице 1 приведены рассматриваемые компоновки производственных участков.

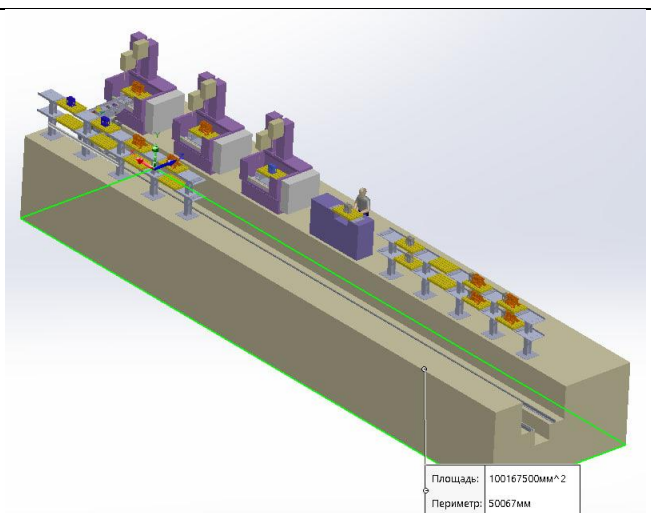
Таблица 1 – Компоновки производственных участков

Описание компоновки производственного участка	3D-геометрическая модель компоновки производственного участка
1	2
«Вариант 1». На базе одно-шпиндельного хонинговального станка с ЧПУ NM15 [2]. Смена технологической оснастки, перемещение и установка ДСЕ осуществляются вручную.	
«Вариант 2». ГПС на основе двухшпиндельных хонинговальных станков с ЧПУ NM20D [2]. Станки NM20D оснащены режущими инструментами как для чернового, так и для чистового хонингования, системой паллетной загрузки. Станки, накопитель паллет и станция загрузки расположены с одной стороны.	

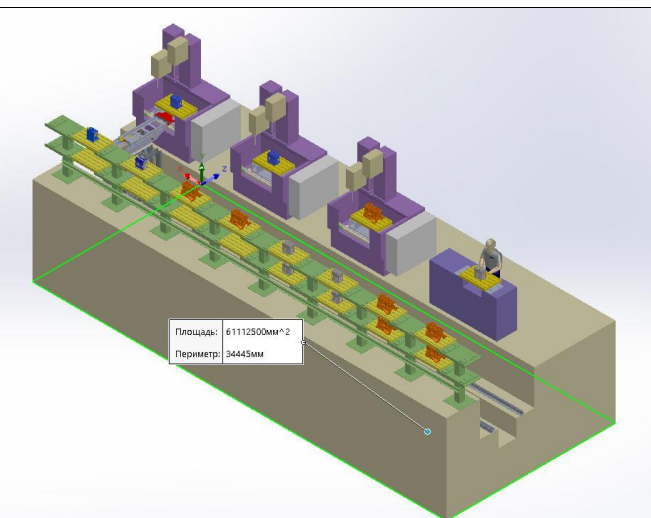
Продолжение таблицы 1

1	2

«Вариант 3». ГПС на основе двухшпиндельных хонинговальных станков с ЧПУ модели HM20D [2]. Станки HM20D оснащены режущими инструментами как для черного, так и для чистового хонингования, системой паллетной загрузки. Два накопителя паллет расположены с разных сторон.



«Вариант 4». ГПС на основе двухшпиндельных хонинговальных станков с ЧПУ HM20D [2]. Станки HM20D оснащены режущими инструментами как для черного, так и для чистового хонингования, системой паллетной загрузки. Накопитель паллет расположен напротив станков и станции загрузки.



Результаты расчета параметров для структурного синтеза компоновок производственных участков приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры компоновок производственных участков

Наименование параметра [3, 4]	Компоновки производственных участков (таблица 1)			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
1	2	3	4	5
Количество единиц основного оборудования, шт.	6	3	3	3
Количество основных производственных исполнителей, чел.	6	1	1	1
Площадь, м ²	46,8	125,2	100,2	61,1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Производительность, шт./мин. Блок цилиндров ДВС: ДСЕ(1); Гильза: ДСЕ(2)	ДСЕ(1)– 0,01; ДСЕ(2)– 0,08	ДСЕ(1) – 0,04; ДСЕ(2) – 0,11	ДСЕ(1)– 0,04; ДСЕ(2) – 0,11	ДСЕ(1)– 0,04; ДСЕ(2) – 0,11
Коэффициент загруженности основного оборудования	0,87	0,7	0,7	0,7
Время простоя основного оборудования, мин.	–	191	172	112
Время простоя вспомогательного обо- рудования, мин.	–	116	131	153
Капитальные вложения, тыс. руб.	36 897,8	55 882,9	55 955,2	55 882,9
Масштабируемость	Ограничена	Возможна	Возможна	Возможна

На основе сравнительного анализа параметров четырех вариантов производственных участков для дальнейшего технологического и конструкторского проектирования выбрана компоновка «Вариант 4».

4. *Обоснование компоновки спутника паллет ГПС.* Спутник паллет (СП) предназначен для транспортировки паллет с ДСЕ между хонинговальным станком, накопителем паллет и станцией загрузки, расположенных в различных местах компоновки ГПС. Предлагаемая конструкция СП описана в работе [3].

5. *Обоснование компоновки станции загрузки ГПС.* Станция загрузки предназначена для снятия и установки ДСЕ на паллеты оператором ГПС. Для повышения производительности работы основного и вспомогательного оборудования ГПС применена двухпозиционная станция загрузки. В первой позиции ДСЕ устанавливается оператором на паллете, а из второй, готовая ДСЕ выгружается из ГПС.

6. *Эскизное проектирование компоновки ГПС.* Результаты структурного синтеза компоновки ГПС на базе хонинговального станка с ЧПУ НМ20D [2] приведены на рисунке 1. Двухярусный накопитель паллет представляет собой сварную конструкцию, в его ячейки СП устанавливаются паллеты с ДСЕ.

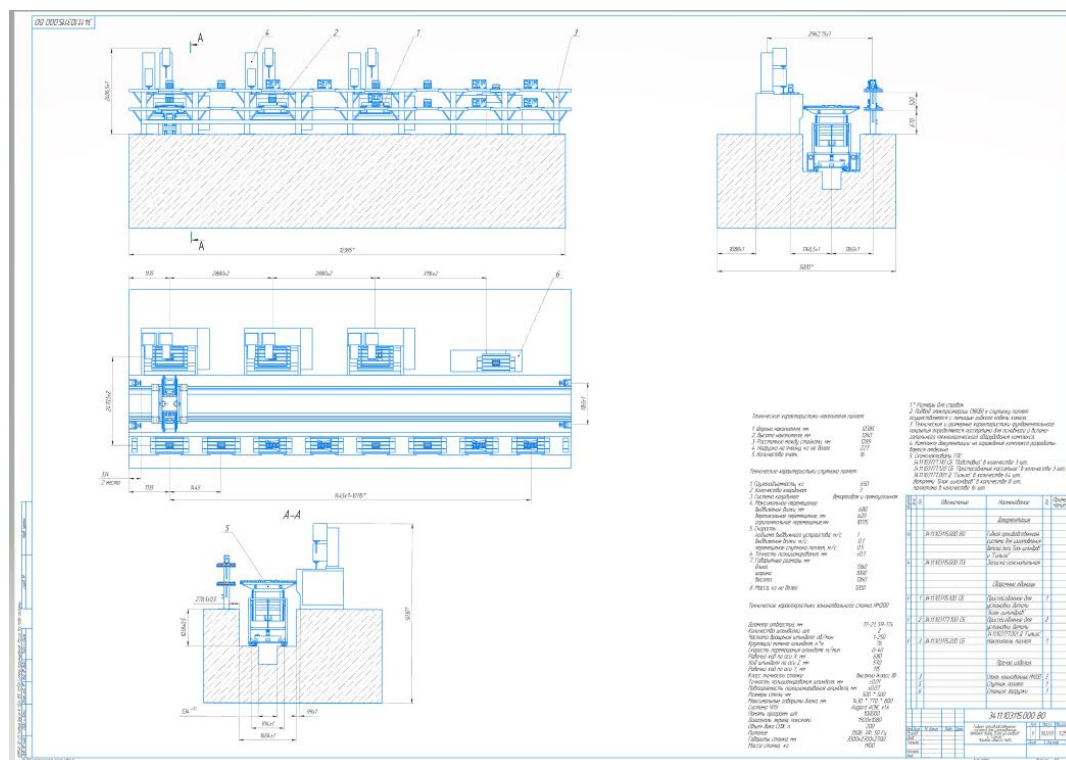


Рисунок 1 – Компонировка ГПС «Вариант 4» (Вид общий)

Вывод. Разработана и апробирована методика структурного синтеза компоновок ГПС на базе хонинговальных станков с ЧПУ нового поколения [2] для изготовления заданной партии ДСЕ в условиях цифровой трансформации высокотехнологичных производств.

Список литературы

- 1 HD Werkzeugmaschinenhandel GmbH [Электронный ресурс] // GEHRING Z2-600-180 – 2025. – Режим доступа: <https://www.hd-maschinen.de/sites/product-detail.php?product=1113-6446&lang=en>. – Проверено 03.08.2025.
- 2 ООО «Хонмастер» [Электронный ресурс] // Станкостроительный завод HONMASTER. – 2025. – Режим доступа: <https://honmaster.ru>. – Проверено 03.08.2025.
- 3 Кульга, К. С. Применение программного обеспечения САх-систем и виртуального моделирования для проектирования компоновок гибких производственных систем / К.С. Кульга, А.А. Китаев, И.О. Сидоров, Д.Г. Кожин // СТИН. – 2015. – №12. – С. 6-14.
- 4 Сердюк, А. И. Гибкие производственные системы механообработки. Методология автоматизированных научных исследований: Монография / А. И. Сердюк, А. И. Сергеев, А. М. Черноусова. – Старый Оскол: ТНТ, 2023. – 456 с.

МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ: ОТ 3D-МОДЕЛИ К ЦИФРОВОМУ ДВОЙНИКУ

Лазарев К.Е., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: рассмотрены этапы развития моделей автоматизированного проектирования технологических процессов сборки в машиностроении. Показана эволюция подходов от 3D-моделирования до цифрового двойника. Проведено сравнение функциональных возможностей САД-систем, включая Компас-3D, на примере проектирования сборочных процессов.

Ключевые слова: *автоматизированное проектирование, САПР, технологический процесс сборки, цифровое производство, Компас-3D, цифровой двойник, PLM, MBD.*

Современное машиностроение переживает этап глубокой цифровой трансформации, в рамках которой автоматизация проектирования технологических процессов сборки становится ключевым фактором повышения эффективности производства. Переход от традиционных методов, основанных на 2D-чертежах и ручной разработке маршрутных карт, к цифровым технологиям позволяет не только сократить сроки проектирования, но и минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором. В предыдущих исследованиях рассматривалась интеграция ИТ-систем, таких как ERP, PLM и VSM, как способ оптимизации производственных процессов [1].

Однако не менее важным является анализ развития внутренних моделей САПР, лежащих в основе автоматизации проектирования сборочных операций.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью систематизации подходов к моделированию сборочных процессов в условиях растущей сложности изделий и сокращения жизненных циклов продукции.

Целью статьи является анализ иерархии моделей автоматизированного проектирования, оценка их возможностей и демонстрация практической применимости на примере доступной САД-системы – Компас-3D.

Развитие моделей САПР в проектировании сборки можно представить как поступательный процесс перехода от простой визуализации к полноценной цифровой обработке процесса. На начальном этапе проектирование ограничивалось созданием трёхмерной модели и статической сборки, где инженер вручную определял последовательность установки деталей.

Такие модели позволяли проводить визуальную проверку на интерференции, но не учитывали технологические ограничения, доступность инструмента

или трудоёмкость операций. Этот уровень можно рассматривать как базовую стадию цифровизации, реализуемую даже в простых САПР.

Следующим шагом стало внедрение ассоциативного моделирования, при котором изменения в геометрии одной детали автоматически отражаются на связанных элементах сборки. Например, изменение диаметра вала приводит к корректировке отверстия в корпусе, что исключает необходимость ручного пересчёта. В системах, таких как Компас-3D, такая функциональность реализована через внешние ссылки и параметрические зависимости, что значительно повышает гибкость проектирования и снижает вероятность ошибок при модификации конструкции [2].

Дальнейшее развитие связано с переходом к параметрическим и типовым сборкам, в которых используются библиотеки стандартных изделий, шаблоны операций и правила проектирования. На этом этапе система способна не только хранить геометрию, но и содержать технологическую информацию: моменты затяжки, типы соединений, требования к качеству. В Компас-3D, например, библиотека стандартных изделий (БИС) позволяет автоматически подбирать крепёж и формировать спецификации, что сокращает время проектирования на 40-60 % по сравнению с ручным методом [3].

Высшим уровнем развития является создание цифрового двойника сборочного процесса – виртуальной модели, воспроизводящей не только геометрию, но и поведение изделия в ходе сборки: последовательность операций, движения исполнителя, использование инструментов, проверку качества.

Такие системы, как Siemens Tecnomatix, позволяют проводить полноценную виртуальную отработку, включая анализ эргономики и проверку доступности. Однако их применение требует интеграции с PLM и значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает доступность для малых предприятий [4].

На рисунке 1 показана иерархия моделей САПР, отражающая постепенный переход от базовой 3D-модели к сложным цифровым двойникам.

Для анализа возможностей различных CAD-систем в контексте автоматизации проектирования сборочных процессов было проведено сравнение по ключевым функциональным признакам.

В таблице 1 представлено сопоставление возможностей Компас-3D, SolidWorks и NX (Siemens) в части поддержки технологий, необходимых для эффективной автоматизации.

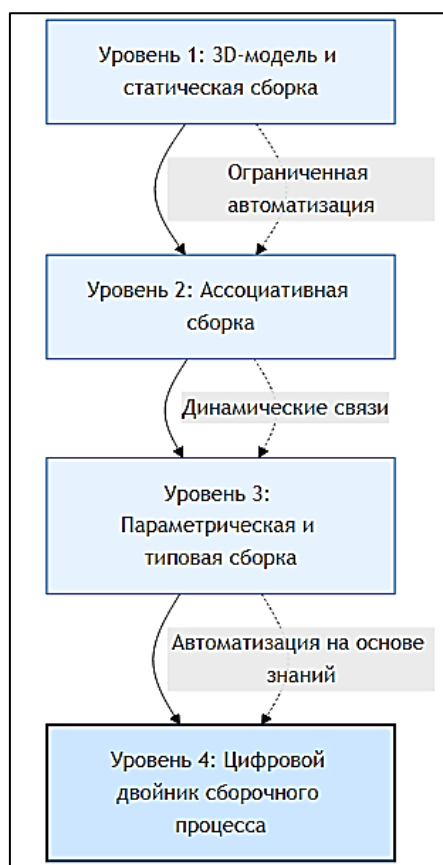


Рисунок 1 – Иерархия моделей САПР в проектировании сборочных процессов

Таблица 1 – Сравнение функциональных возможностей CAD-систем в проектировании сборочных процессов

Функциональная возможность	Компас-3D	Solidworks	NX(Siemens)
1	2	3	4
Поддержка 3D-сборок с ассоциативными связями	Да	Да	Да
Параметризация геометрии и размеров	Да	Да	Да
Библиотека стандартных изделий (БИС)	Да (встроенная)	Да (Toolbox)	Да (Reusability Library)
Автоматическая генерация спецификаций	Да (по ГОСТ)	Да	Да
Проверка интерференций в сборке	Да	Да	Да
Моделирование последовательности сборки (Explode View + Animation)	Ограниченная поддержка	Да	Да (в Tecnomatix)

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Поддержка MBD (Model-Based Definition)	Нет	Частично (DimXpert)	Полная
Интеграция с PLM-системами	Через посредников (например, T-FLEX)	Teamcenter, SAP	Native (Teamcenter)
Поддержка API для автоматизации (VB.NET, Python и др.)	Да (встроенный макроязык, API)	Да (API)	Да (API, .NET)
Возможность создания цифрового двойника сборки	Нет (требует внешние системы)	С ограничениями	Да (в составе Tecnomatix)

Анализ показывает, что Компас-3D, несмотря на отставание в поддержке MBD и PLM-интеграции, демонстрирует высокие результаты на уровнях 3D-моделирования, ассоциативности и типового проектирования. Это делает его рациональным выбором для малых и средних машиностроительных предприятий, где требуется баланс между функциональностью и стоимостью владения [5].

Кроме того, наличие открытого API в Компас-3D позволяет разрабатывать собственные модули автоматизации, например, для генерации маршрутных карт или проверки технологичности сборки. Это открывает возможности для поэтапного наращивания цифровой зрелости без необходимости единовременных капитальных вложений в дорогие PLM-платформы [6].

Перспективы развития моделей САПР связаны с интеграцией искусственного интеллекта, облачных вычислений и технологий дополненной реальности. В ближайшие годы можно ожидать появления систем, способных автоматически предлагать оптимальную последовательность сборки, прогнозировать трудоёмкость и выявлять потенциальные дефекты на этапе проектирования. Однако для реализации этих возможностей требуется не только технологическая, но и организационная готовность предприятий, включая подготовку кадров и формирование единого информационного пространства.

Таким образом, модели автоматизированного проектирования сборочных процессов проходят, путь от простой визуализации к сложным цифровым двойникам. Даже при использовании доступных решений, таких как Компас-3D, можно реализовать значительную часть автоматизации, особенно на этапах параметрического и типового проектирования. Переход к более высоким уровням

моделирования должен осуществляться поэтапно, с учётом реальных возможностей предприятия и потребностей производства.

Список литературы

1 Лазарев, К. Е. Автоматизация и оптимизация сборочных процессов на основе интеграции современных ИТ-систем / К.Е. Лазарев, В.А. Трипкош // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 1878-1882.

2 Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 456 с.

3 Авербух, А. Л. Современные САД-системы: выбор и эффективное применение / А. Л. Авербух. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 528 с.

4 Siemens Digital Industries Software. Digital Twin for Manufacturing. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com> (дата обращения: 05.04.2025).

5 Кульга, К. С. Особенности внедрения на машиностроительных предприятиях САД/CAM/PDM/CAE/PLM и ERP-систем и методы их интеграции / К.С. Кульга // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 2. – С. 112–115.

6 ГОСТ Р ИСО 10303-242-2018. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных о продукции. Часть 242: Механическое проектирование – Правила использования.

СПЕЦИФИКА РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ДРОНОСФЕРЫ

Лапин Д.В., канд. социол. наук

Автономная некоммерческая организация высшего образования «Институт международных экономических связей», город Москва

Исмаилов А.К., Раппа К.И., Семичаевский С.С.,

Общество с ограниченной ответственностью «ГТИ», город Москва

Аннотация: специфика развития отечественной дроносферы представляет собой актуальную тему, требующую комплексного анализа технологических, правовых и инфраструктурных аспектов. В статье рассматривается понятие «дроносфера» как совокупности элементов, обеспечивающих функционирование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в Российской Федерации, при этом особое внимание уделяется этапам становления этой экосистемы, начиная с военных разработок 2000-х годов и заканчивая современными гражданскими приложениями.

Ключевые слова: БПЛА, дроны, дроносфера, цифровизация, инновации, национальная технологическая инициатива

На сегодняшний день в современной ойкумене более 30 конфликтов, в рамках которых активно используются дроны. В настоящее время становится очевидным, что с началом применения в боевых действиях квадрокоптеров и FPV-дронов камикадзе контекст самих военных конфликтов изменился [1]. Следует отметить, что термин «дроносфера», введенный в научный оборот как авторское понятие, обозначает не только технические компоненты, но и правовые механизмы, регулирующие эксплуатацию дронов, что делает исследование многогранным и значимым в условиях цифровой трансформации экономики. Как известно, слово дрон, заимствованное из английского языка (drone «трутень»), появилось еще в 1934 году [2]. Аннотация к работе подчеркивает, что анализ правового регулирования, включая Федеральный закон № 147-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс РФ», позволяет выявить как достижения, так и пробелы в отрасли, такие как техническая зависимость от зарубежных компонентов, недостаток квалифицированных кадров и этические дилеммы. Ключевые слова, такие как дроносфера, беспилотные летательные аппараты, регулирование БПЛА, технологическое развитие и отечественные дроны, отражают основные направления исследования, акцентируя внимание на российском контексте.

Введение в проблему необходимо начать с обозначения исторического контекста: если в 2010-х годах БПЛА в России ассоциировались преимущественно с военными задачами, например, с комплексами «Орион» и «Элерон»,

то к 2020-м годам наблюдается стремительный рост их применения в коммерческих сферах – сельском хозяйстве, логистике, мониторинге инфраструктуры и экологическом контроле. Следует учитывать, что цель данного исследования заключается в выявлении специфики формирования отечественной дроносферы, анализе барьеров ее развития и предложении путей преодоления существующих ограничений. Актуальность работы обусловлена, в частности, усилением санкционного давления на импортные компоненты для дронов, что делает импортозамещение критически важным. Кроме того, растущий спрос на БПЛА в гражданском секторе требует модернизации нормативной базы и подготовки специалистов. Для достижения поставленной цели автор опирается на методы системного анализа, изучение нормативно-правовых актов и экспертные интервью с представителями отрасли, что позволяет получить объективную картину текущего состояния дроносферы.

Развитие дроносферы в России можно разделить на цельных три этапа, каждый из которых имеет свои особенности. Первый этап (2005–2015 гг.) характеризовался доминированием военных проектов, когда создавались легкие тактические БПЛА, такие как «Грач» и «Точка-У», ориентированные на разведку и корректировку артиллерийского огня. В этот период ключевым игроком выступало ОАО «Сухой», разработавшее дрон «Орион», который в 2018 году был принят на вооружение. Однако техническая зависимость от иностранных навигационных систем и двигателей существенно ограничивала автономность отрасли, что, безусловно, замедляло прогресс. Переход ко второму этапу (2016–2020 гг.) связан с расширением гражданского применения БПЛА: в 2017 году Росавиация утвердила правила использования аппаратов весом до 30 кг, что стимулировало развитие коммерческих сервисов, включая аэрофотосъемку, доставку медикаментов в удаленных регионах и мониторинг сельхозугодий. Тем не менее, отсутствие единой нормативной базы приводило к правовым коллизиям, например, в 2019 году операторы дронов в Московском регионе сталкивались с запретами на полеты из-за противоречий между региональными и федеральными законами. Третий этап (с 2021 г. по настоящее время) отмечен усилением государственной поддержки: принятие Федерального закона № 147-ФЗ упростило процедуру регистрации БПЛА, а программа «Цифровая экономика» выделила 5 млрд рублей на развитие отечественных технологий. Параллельно на фоне санкций активизировались проекты по импортозамещению, такие как разработка двигателя для дронов НПО «Сатурн» на базе отечественных материалов.

Правовая база дроносферы в России остается фрагментарной, что создает серьезные вызовы для отрасли. Основным документом является Воздушный кодекс РФ с изменениями от 2021 года, который разделяет БПЛА на категории, обязывает регистрировать аппараты тяжелее 250 граммов и запрещает полеты в

зонах аэропортов. Однако на практике возникают многочисленные проблемы, в частности, несоответствие российских стандартов требованиям Европейского агентства авиационной безопасности (EASA), что затрудняет экспорт дронов. Например, сертификация БПЛА «Геоскан-401» для европейского рынка потребовала доработки систем навигации, что увеличивало сроки и стоимость проекта. Кроме того, законодательство не предусматривает ответственности за кибератаки на БПЛА, как это произошло в 2022 году с дроном «Форпост», взломанным из-за уязвимости в программном обеспечении. Региональные различия также усложняют эксплуатацию дронов: в Крыму действуют особые правила, связанные со статусом полуострова, что создает барьеры для трансграничных перевозок. Эксперты отмечают, что для гармонизации регулирования необходимо создать единый реестр БПЛА и ввести стандарты кибербезопасности, аналогичные американским NIST, что позволит повысить доверие к отечественным разработкам.

Ключевые проблемы развития дроносферы включают технологическую зависимость, дефицит квалифицированных кадров и этические риски. Так, до 70 % компонентов для дронов, таких как камеры и аккумуляторы, импортируются из Китая и ЕС, что обострилось в условиях санкций 2022 года и вынудило компании перейти на упрощенные модели. Дефицит кадров также остается острой проблемой: по данным Ассоциации беспилотных систем за 2023 год, в России не хватает 12 тысяч операторов БПЛА и инженеров по их обслуживанию, что тормозит масштабирование проектов. Этические риски, такие как использование дронов для слежки в рамках проекта «Безопасный город», вызывают споры о нарушении права на приватность, требуя разработки этических кодексов для операторов. В то же время существуют и перспективы: интеграция с искусственным интеллектом, как в проекте «Сириус-Дрон» «Сколково», позволяет БПЛА автономно распознавать объекты, снижая потребность в операторах. Развитие дрон-такси, например, пилотный маршрут в Татарстане для перевозки пассажиров на электрических дронах «Лета», открывает новые горизонты для транспортной инфраструктуры. Экологический мониторинг с помощью дронов компании «Эко-Сканер» в Сибири демонстрирует практическую пользу технологии, сокращая время реагирования на лесные пожары на 40 %. Для ускорения развития дроносферы рекомендуется увеличить финансирование НИОКР в области микроэлектроники, ввести льготные кредиты для стартапов и создать образовательные программы по управлению дронами в вузах.

Таким образом, развитие отечественной дроносферы демонстрирует переход от узкоспециализированных военных приложений к многоотраслевой экосистеме, что подтверждается успешными кейсами в сельском хозяйстве, логистике

и экологическом мониторинге. Однако ее устойчивое функционирование требует решения системных проблем, включая модернизацию правовой базы, сокращение технологической зависимости и подготовку кадров. В долгосрочной перспективе интеграция с цифровыми технологиями и гармонизация регулирования с международными стандартами позволят России занять конкурентоспособную позицию на глобальном рынке БПЛА. Как верно подмечает А.Ю. Ярошевич, – «рост популярности беспилотных летательных аппаратов – от любительских квадрокоптеров до профессиональных дронов – сопровождается повышением рисков в сфере национальной безопасности» [3].

Ключевым условием станет баланс между государственным регулированием и поддержкой инноваций, что определит вектор развития дроносферы в ближайшее десятилетие.

В заключение следует подчеркнуть, что только комплексный подход, объединяющий усилия государства, бизнеса и научного сообщества, обеспечит динамичное и устойчивое развитие этой стратегически важной отрасли.

Список литературы

1 Гонта, С. Н. Кустарные методы противодействия fpv-дронам камикадзе (по опыту специальной военной операции) / С.Н. Гонта, Н.А. Иванов, Ю.А. Малкова // Национальная безопасность / nota bene. – 2025. – №1. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kustarnye-metody-protivodeystviya-fpv-dronam-kamikadze-po-opytu-spetsialnoy-voennoy-operatsii> (дата обращения: 30.07.2025).

2 Новоселова, В. А. Военная терминология в медиатекстах: тематическая группа «Беспилотные летательные аппараты» / В.А. Новоселова // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2025. – №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/voennaya-terminologiya-v-mediatekstah-tematicheskaya-gruppa-bespilotnye-letatelnye-apparaty> (дата обращения: 30.08.2025).

3 Ярошевич, А. Ю. Правовые основы функционирования беспилотных аппаратов в целях обеспечения национальной безопасности Российской Федерации / А.Ю. Ярошевич // Наука и образование сегодня. – 2025. – №1 (82). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-osnovy-funktsionirovaniya-bespilotnyh-apparatov-v-tselyah-obespecheniya-natsionalnoy-bezopasnosti-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 31.08.2025).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Лапина О.Д.

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», город Москва

Аннотация: современные энергетические системы переживают трансформацию, обусловленную ростом сложности инфраструктуры, интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и необходимостью повышения устойчивости к внешним шокам, таким как климатические катаклизмы или кибератаки. В этом контексте нейротехнологии, основанные на искусственных нейронных сетях (ИНС) и методах глубокого обучения, становятся ключевым инструментом для оптимизации управления энергетическим комплексом.

Ключевые слова: цифровизация, инновации, национальная технологическая инициатива, энергетический комплекс, нейротехнологии.

Современные энергетические системы ойкумены переживают трансформацию, обусловленную ростом сложности инфраструктуры, интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и необходимостью повышения устойчивости к внешним шокам, таким как климатические катаклизмы или кибератаки. В этом контексте нейротехнологии, основанные на искусственных нейронных сетях и методах глубокого обучения, становятся ключевым инструментом для оптимизации управления энергетическим комплексом. «Динамичное развитие ИТ-рынка приводит к появлению новых видов продукции, получившей название «цифровой» [1].

Их применение позволяет не только обрабатывать многомерные данные в режиме реального времени, но и прогнозировать динамику спроса, минимизировать потери в сетях и обеспечивать баланс между децентрализованными источниками генерации.

Актуальность темы обусловлена ускорением цифровизации энергетики: по данным МЭА, к 2030 году 70 % инвестиций в энергетическую инфраструктуру будут связаны с «умными» технологиями, включая нейросетевые решения. В этом контексте согласимся с научной позицией Е.А. Лясковской и К.М. Григорьевой, что «понятия цифровой экономики и цифровой трансформации соотносятся между собой как целое и частное» [3].

Однако до сих пор недостаточно изучены системные аспекты внедрения нейротехнологий в энергетику, особенно в условиях высокой неопределенности, характерной для перехода к углеродно-нейтральным системам. Цель данной работы – проанализировать теоретико-методологические основы применения

нейротехнологий в управлении энергетическим комплексом и выявить критические факторы их эффективной интеграции.

Нейротехнологии в энергетике базируются на способности искусственных нейронных сетей обрабатывать неструктурированные данные, выявлять скрытые паттерны и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Как верно замечает В.Ю. Воскресенский, – «цель внедрения цифровых технологий состоит в усилении конкурентоспособности за счет внедрения инноваций адекватных новому этапу информатизации общества. Цифровые технологии дают возможность решить многие проблемы современного бизнеса, связанные с расширением его географии, низким качеством транспортной инфраструктуры, нехваткой квалифицированной рабочей силы» [2].

В отличие от традиционных алгоритмов, таких как линейная регрессия или ARIMA-модели, нейросети, включая рекуррентные (RNN) и трансформеры, способны учитывать пространственно-временные зависимости в энергетических потоках.

Одним из перспективных направлений является использование нейротехнологий для управления децентрализованными энергосистемами, где доминируют микросети и распределенная генерация. В таких условиях традиционные централизованные алгоритмы управления теряют эффективность из-за высокой вариативности источников энергии. Нейросети, обученные на данных о локальном производстве и потреблении, способны динамически балансировать нагрузку, минимизируя зависимость от внешних поставок. Например, в Калифорнии проект Tesla Virtual Power Plant объединил 3000 домашних аккумуляторов в единую сеть, управляемую reinforcement learning (RL). Алгоритм, основанный на методе Q-learning, оптимизировал зарядку/разрядку батарей с учетом цен на энергорынке и прогноза солнечной генерации, снизив пиковые нагрузки на 27 %. Аналогичный подход реализован в Германии, где нейросети координируют работу ветряных ферм и гидроаккумулирующих станций, предотвращая перегрузки за счет предиктивного перераспределения энергии. Ключевым преимуществом RL в этом случае является способность системы учиться на ошибках без явного программирования, что особенно важно в условиях непредсказуемой генерации ВИЭ.

Однако внедрение нейротехнологий сопряжено с рядом методологических и практических вызовов. Первый связан с качеством данных: нейросети требуют больших объемов разнородной информации, включая метеоданные, показатели оборудования и поведенческие паттерны потребителей. В развивающихся странах, где инфраструктура IoT слабо развита, это создает «цифровой разрыв», ограничивающий применение продвинутых моделей.

Например, в Индии пилотный проект по прогнозированию спроса с помощью ИНС столкнулся с недостатком данных о бытовом потреблении, что привело к ошибке в 35 %. Вторая проблема – интерпретируемость моделей. «Черный ящик» нейросетей затрудняет объяснение решений регуляторам и потребителям, что критично в энергетике, где ошибки могут вызвать масштабные отключения. Для решения этой задачи исследователи предлагают гибридные архитектуры, сочетающие нейросети с экспертными системами.

Так, в Швейцарии проект «NeuroGrid» интегрировал LSTM с правилами fuzzy logic, что повысило прозрачность решений на 60 % без потери точности. Третий вызов – кибербезопасность: нейросетевые системы становятся мишенью для атак, направленных на искажение входных данных. В 2021 году хакеры в США манипулировали данными с датчиков, чтобы вызвать ложные срабатывания автоматики, что подчеркивает необходимость встраивания механизмов защиты на уровне обучения моделей.

Особое значение в управлении энергетическим комплексом приобретает применение нейроморфных вычислений – технологий, имитирующих работу биологических нейронов. В отличие от классических ИНС, нейроморфные чипы (например, IBM TrueNorth или Loihi от Intel) обрабатывают информацию асинхронно, потребляя в 100 раз меньше энергии. Это делает их идеальными для вычислений в удаленных энергообъектах, где критична автономность. В пилотном проекте на нефтяных платформах Норвегии нейроморфные сенсоры в реальном времени анализировали вибрации оборудования, предсказывая отказы за 72 часа до их возникновения с точностью до 89 %. Аналогичные решения тестируются в солнечных электростанциях ОАЭ, где нейроморфные системы оптимизируют угол наклона панелей под солнце, используя минимум вычислительных ресурсов. Однако массовое внедрение таких технологий сдерживается высокой стоимостью оборудования и отсутствием стандартов интеграции с существующими АСУ ТП.

Солидаризируемся с научной позицией И.А. Филиповой, – «практически невозможно спрогнозировать все разработки в области нейро-технологий, так как новые технологии развиваются очень быстро, а осознание этических моментов, стимулирующих постановку правовых вопросов, нередко значительно отстает от технологий» [5].

Экономический эффект от использования нейротехнологий уже подтвержден практикой. По оценкам аналитиков McKinsey, их применение в прогнозировании спроса и предиктивном обслуживании позволяет снизить операционные издержки энергокомпаний на 15 % – 25 %, а потери в сетях — на 12 % – 18 %. В России проект «Цифровая энергетика» ПАО «Россети» сократил аварийные про-

стои на 30 % за счет внедрения нейросетей для анализа данных с умных счетчиков. Тем не менее, рентабельность инвестиций зависит от масштаба и зрелости цифровой инфраструктуры: для мелких распределительных сетей окупаемость может превышать 7–10 лет, что делает необходимым государственное стимулирование. Европейский Союз решает эту проблему через программу Digital Europe, выделяющую гранты на внедрение искусственного интеллекта в энергетику, что уже привело к росту количества нейротех-проектов на 45 % в 2020–2022 годах.

Социальные и экологические аспекты также требуют внимания. Нейротехнологии могут усилить энергетическую доступность для удаленных регионов через автономные микросети, управляемые искусственным интеллектом. В Кении проект «M-KOPA Solar» использует нейросети для динамического ценообразования, адаптируя тарифы под платежеспособность населения, что повысило охват электричеством на 22 %. Однако существует риск «цифрового неравенства», когда регионы без доступа к данным остаются вне прогресса. Кроме того, обучение крупных моделей связано с высоким энергопотреблением: например, тренировка GPT-3 эквивалентна выбросам 500 тонн углекислого газа. Для энергетики, стремящейся к декарбонизации, это парадокс, требующий разработки «зеленых» алгоритмов, таких как сжатие нейросетей или использование возобновляемой энергии для вычислений.

В перспективе интеграция нейротехнологий с другими прорывными направлениями, такими как квантовые вычисления и блокчейн, откроет новые возможности для энергетики. Квантовые нейросети смогут решать задачи оптимизации сложных сетей за экспоненциально меньшее время, а блокчейн обеспечит прозрачность данных, используемых для обучения моделей. Уже сейчас в Эстонии тестируется платформа, где нейросети и блокчейн совместно управляют торговлей «зеленой» энергией между соседями, снижая транзакционные издержки на 40 %. «Однако для реализации этих сценариев необходимы стандарты данных, единые протоколы взаимодействия и этические рамки, регулирующие автономность ИИ в критической инфраструктуре» [4].

Таким образом, нейротехнологии трансформируют управление энергетическим комплексом, переходя от вспомогательного инструмента к системообразующему элементу. Их эффективность доказана в прогнозировании, оптимизации и обеспечении устойчивости сетей, но успех зависит от решения проблем данных, безопасности и инклюзивности. Ключевым условием станет развитие кросс-отраслевых партнерств: энергетикам, IT-компаниям и регуляторам необходимо совместно формировать экосистему, где нейротехнологии служат не только повышению эффективности, но и достижению целей устойчивого развития. Только такой подход позволит превратить энергетический комплекс из

«цифрового аутсайдера» в лидер цифровой трансформации, где технологии работают на человека, а не вместо него.

Список литературы

1 Грубов, Е. О. Анализ понятийного аппарата для описания цифровой продукции на ИТ-рынке / Е.О. Грубов, В.И. Мухин // Региональная и отраслевая экономика. – 2025. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ponyatiynogo-apparata-dlya-opisaniya-tsifrovoy-produktsii-na-it-rynke> (дата обращения: 28.08.2025).

2 Воскресенский, В. Ю. О цифровой трансформации мировой экономики / В. Ю. Воскресенский // Российский внешнеэкономический вестник. – 2024. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-tsifrovoy-transformatsii-mirovoy-ekonomiki> (дата обращения: 01.09.2025).

3 Лясковская, Е. А. Цифровая трансформация и использование сквозных цифровых технологий в системе целей устойчивого развития регионов / Е. А. Лясковская, К. М. Григорьева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 62–80. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-i-ispolzovanie-skvozhnyh-tsifrovyyh-tehnologiy-v-sisteme-tseley-ustoychivogo-razvitiya-regionov> (дата обращения: 03.09.2025).

4 Мягков, Р. П. Проблемы правового регулирования применения нейротехнологий / Р. П. Мягков // Правовой альманах. – 2024. – № 8 (39). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pravovogo-regulirovaniya-primeneniya-neyrotehnologii> (дата обращения: 01.08.2025).

5 Филипова, И. А. Нейротехнологии: развитие, применение на практике и правовое регулирование / И. А. Филипова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Право. – 2021. – Вып. 12, № 3. – С. 502–521.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (VR/AR) В ОБУЧЕНИИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Лихацкий А.Д., Архапчева М.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье проведены анализ внедрения технологии виртуальной и дополненной реальности, и систематизация ключевых проблем в подготовке военных специалистов. На примере отечественных разработок демонстрируется практический потенциал данных технологий для повышения безопасности эффективности обучения.

Ключевые слова: VR/AR технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, обучение военных специалистов, симуляции.

Актуальность применения виртуальной реальности и дополненной реальности (VR/AR) в обучении военных специалистов обуславливает решение ряда ключевых задач: повышение реалистичности обучения, безопасность обучения, индивидуальный подход к обучению, контроль процесса обучения и снижение затрат. Внедрение современных технологий в процесс обучения позволяет при меньших затратах и рисках получить квалифицированных специалистов в военной сфере [1].

Целью исследования является анализ следствий применения виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в обучении военных специалистов, а также систематизация основных вызовов, возникающих в условиях цифровой трансформации процесса обучения военных специалистов.

Научная новизна работы заключается в обобщении современного опыта использования виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в обучении военных специалистов. Практическая инновационность заключается в возможности повышения эффективности обучения военных специалистов с учетом цифровых технологий.

Виртуальная реальность (VR, Virtual Reality) – это технология, которая создаёт ощущение присутствия в компьютерно-генерируемом мире. Пользователь погружается в виртуальный мир с помощью специальных устройств – очков или шлемов.

Принцип функционирования виртуальной реальности (VR) базируется на формировании ощущения полного погружения в искусственно созданное пространство. Данная технология задействует специализированные устройства и программы для моделирования трёхмерного окружения, позволяя пользователю взаимодействовать с ним почти так же, как с физической реальностью.

В VR-системах применяются два основных способа создания изображений цифровых объектов. Первый способ заключается в использовании стереоэкранов, которые проецируют изображение виртуального мира на все поверхности специально оборудованного помещения. Это создаёт эффект полного погружения пользователя в искусственную среду. Второй способ основан на применении индивидуальных устройств визуализации, таких как шлемы или очки виртуальной реальности. Эти устройства формируют раздельное стереоскопическое изображение для каждого глаза, что обеспечивает восприятие глубины и объёма в виртуальном пространстве.

Дополненная реальность (AR, от англ. Augmented Reality) – это технология, которая позволяет накладывать цифровые объекты на реальное окружение пользователя в режиме реального времени. AR дополняет существующую реальность виртуальными элементами: 3D-моделями, текстом, изображениями или анимацией.

Принцип работы дополненной реальности (AR) заключается в наложении цифровых элементов на реальное окружение. Технология не заменяет реальную среду искусственной, а лишь вносит в неё то, чего на самом деле быть не может или недоступно в текущий момент.

Главное преимущество таких решений – способность воспроизводить как реальные боевые условия, так и гипотетические сценарии, с которыми могут столкнуться курсанты. Это обеспечивает не только детальное изучение материала, но и его буквальное «погружаемое» усвоение за счёт эффекта присутствия. Как и любая технология, виртуальная и дополненная реальность в процессе обучения военных специалистов имеет как плюсы, так и минусы [2].

Виртуальная реальность способна увеличить вовлечённость и мотивацию обучающихся, так как имитация реальных боевых действий позволяет курсантам наиболее полно ощутить военные реалии. Также эта технология позволяет увеличить качество обучения, за счёт различных симуляций без реального риска и индивидуального подхода к обучению.

Тем не менее, сегодня существует ряд барьеров, препятствующих широкому внедрению VR/AR-технологий в сферу образования.

Финансовые ограничения: необходимое оборудование обладает высокой ценой. Есть вероятность, что учебные центры, особенно военные, с ограниченным бюджетом не смогут позволить себе его приобретение.

Сложности в освоении: работа с VR/AR-устройствами и специализированным ПО требует специальной подготовки. Это может затруднить внедрение технологий в учебный процесс, если преподаватели и учреждения не обладают нужной квалификацией. Влияние на здоровье: длительное использование VR/AR-

гарнитур способно вызывать нежелательные последствия, включая головокружение, тошноту, повышенную тревожность и психоэмоциональное напряжение. В результате может снизиться продуктивность обучения или даже возникнуть риск для самочувствия пользователей. Несмотря на все возникающие трудности, применение современных технологий всё активнее набирает обороты, и даже на сегодняшний день мы можем наблюдать их реальное практическое применение [3].

Тренажёр «Кудесник». Высокотехнологичный симулятор для подготовки парашютистов-десантников. Позволяет отработать все элементы свободного падения: от шага в небо до приземления.

Институт военной медицины активно применяет виртуальные симуляторы для обучения курсантов оказанию первой помощи в полевых условиях. В интерактивной среде будущие медики отрабатывают навыки экстренных медицинских вмешательств, включая остановку кровотечений, обработку ран и организацию эвакуации пострадавших. Это позволяет им быстро и эффективно осваивать критически важные процедуры в безопасной, но максимально приближенной к реальности обстановке.

52-й отдельный понтонно-мостовой полк также использует VR-технологии для подготовки военных инженеров. В виртуальной среде обучающиеся тренируются в сборке понтонных конструкций, управлении плавсредствами на течении и ликвидации последствий нештатных ситуаций. Такой подход значительно повышает качество подготовки, позволяя отрабатывать сложные операции без риска для личного состава и техники.

Современные AR-гарнитур, такие как Microsoft Hololens и Magic Leap, открывают новые возможности для военнослужащих, предоставляя им стратегически важную информацию в режиме реального времени. Бойцы получают данные о расположении противника, анализ рельефа местности и другие тактические сведения прямо в поле зрения, что существенно повышает оперативность принятия решений в боевых условиях.

Особый интерес представляет инновационный проект Чеченского государственного университета имени А.А. Кадырова под названием «Виртуальный полигон». Проект направлен на начальную подготовку пользователей военному ремеслу без выезда на полигон. С использованием системы виртуальной реальности любой участник может провести разборку, сборку ружья, узнать предназначение всех компонентов военной экипировки, пострелять по мишеням, разработать свою военную стратегию и научиться мыслить, как военный человек.

Перспективы широкого распространения данной разработки напрямую связаны с двумя ключевыми факторами: объемом бюджетных ассигнований и доступностью квалифицированных кадров, способных обслуживать сложное

VR-оборудование. Несмотря на существующие барьеры, эксперты признают значительные возможности технологии для реформирования системы военного образования. Успешная реализация и дальнейшее совершенствование этого проекта способны стать катализатором для обновления учебных программ и внедрения передовых методов подготовки военных специалистов.

Список литературы

1 Ерилов, Н. А. Применение виртуальной реальности в военных учебных центрах: педагогический аспект и практическое значение / Н.А. Ерилов, А.В. Пепеляев // Теория и практика военного образования в гражданских вузах: педагогический поиск : сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Екатеринбург, 16-17 ноября 2023 г.) : в 2 частях : Часть 2. – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2023. – С. 86-91.

2 Моряков, В. Е. Внедрение технологий виртуальной реальности в процесс обучения личного состава в военной учебной среде / В.Е. Моряков, Н.В. Серещев, Е.А. Жидко // Молодой ученый. – 2024. – № 49 (548). – С. 306-308. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/548/119943> (дата обращения: 08.07.2025).

3 Спицын, П. А. Новый уровень обучения: перспективные формы обучения курсантов с использованием средств виртуальной реальности / П. А. Спицын, А. А. Бавула // Военный вестник образования. – 2021. – № 4 (31). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyuy-uroven-obucheniya-perspektivnye-formy-obucheniya-kursantov-s-ispolzovaniem-sredstv-virtualnoy-realnosti> (дата обращения: 08.07.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА

**Логинов В.А., Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: износ режущего инструмента является важным фактором, влияющим на качество обработки деталей и производительность станков. Традиционные методы оценки степени износа зачастую трудоемки и требуют остановки производственного процесса. Современные технологии позволяют автоматизировать процесс контроля состояния инструментов, обеспечивая повышение эффективности. Одним из перспективных направлений является использование видеоизмерительных систем, которые позволяют оперативно получать точные данные о состоянии инструмента.

Ключевые слова: видеоизмерительные системы, износ инструмента, режимы резания.

Контроль износа инструмента играет ключевую роль в обеспечении качества продукции и надежности производственных процессов. Износ возникает вследствие взаимодействия материала детали и инструмента, приводящего к постепенному изменению геометрии последнего. Это влияет на точность размеров обрабатываемых изделий, увеличивает шероховатость поверхностей и снижает ресурс оборудования. Для минимизации негативных последствий износа используются различные подходы к контролю состояния инструмента [1].

Традиционно контроль осуществляется визуально или путем ручного замера микрометром либо профилометром. Однако такие методы имеют ряд недостатков: низкая скорость измерений, высокая погрешность и необходимость прерывания технологического цикла. Использование автоматизированных решений позволяет устранить эти проблемы и повысить эффективность мониторинга.

Видеоизмерительные системы представляют собой инструментальные комплексы, оснащенные оптическими датчиками высокого разрешения, системами освещения и специализированным программным обеспечением для анализа изображений, изображено на рисунке 1. Они обеспечивают бесконтактное измерение геометрических характеристик объекта с точностью до долей микрона. Благодаря этому стало возможным быстро оценивать состояние инструмента непосредственно в ходе производственного процесса, снижая риск выпуска бракованной продукции и повышая общий уровень автоматизации производства [2,4].



Рисунок 1 – Видеоизмерительная система NORGAU NVM-3020CNC

Принцип работы типичной видеоизмерительной системы основан на захвате изображения контролируемого участка инструмента видеокамерой с последующим цифровым анализом полученных данных.

Оптический модуль представляет собой высокочувствительную камеру с системой подсветки и объективом, обеспечивающим необходимое увеличение и фокусировку. Камеры оснащены матрицами с высоким разрешением, позволяющими фиксировать мельчайшие изменения поверхности инструмента.

Подсветка реализуется специальными светодиодными источниками света, способствующими повышению контрастности изображения и выделению критически важных участков. Применяются различные схемы подсветки: кольцевые, линейные, косые лучи и точечные световые импульсы. Выбор конкретного типа зависит от условий эксплуатации и особенностей контролируемых объектов.

Программное обеспечение отвечает за обработку изображений и вычисление необходимых параметров. Оно включает алгоритмы распознавания контуров, фильтрации шумов, выделения дефектов и расчета ключевых показателей (толщина стружки, глубина впадины, износ передней грани). Программа также обеспечивает хранение архивов результатов измерений и формирование отчетов для дальнейшего анализа [3].

Алгоритмы машинного зрения реализованы на основе методов цифровой обработки сигналов и компьютерных технологий. Например, метод опорных точек используется для выявления изменений формы профиля режущей части инструмента. Метод Фурье применяется для обнаружения периодичности структур

на изображениях. Машинное обучение помогает автоматически классифицировать типы повреждений и определять степень износа.

Интерфейс оператора служит для визуализации текущих значений контролируемых параметров и настройки режимов функционирования устройства. Графическое представление облегчает восприятие оператором результатов измерений и ускоряет принятие решения о замене инструмента.

На рисунке 2 представлено изображение пластины, полученное с помощью видеоизмерительной системы NORGAU NVM-3020CNC.

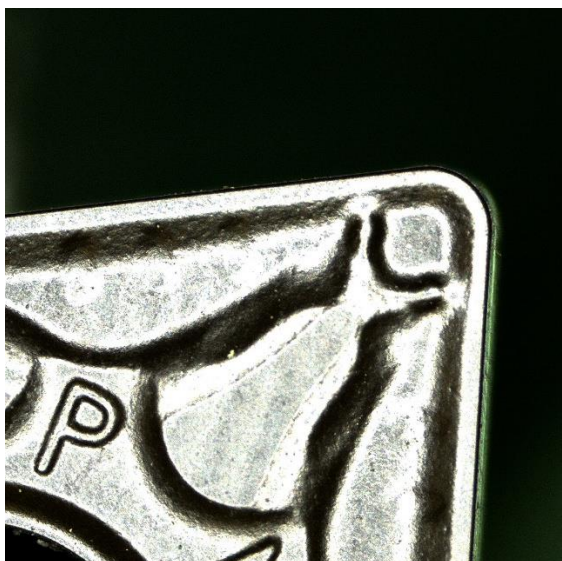


Рисунок 2 – Изображение пластины полученное с применением видеоизмерительной системы

Современные интерфейсы поддерживают интеграцию с системами управления оборудованием (CNC), что позволяет настраивать режимы работы и контролировать ход технологических операций удаленно.

Использование видеоизмерительных систем обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами оценки износа:

- высокая точность, разрешение камер и чувствительность датчиков обеспечивают высокую точность измерения даже малых величин деформации;
- автоматизация, автоматический сбор и обработка данных сокращают временные затраты на оценку износа и снижают влияние человеческого фактора;
- интеграция с производственным процессом, возможность встраивания видеоизмерителей в линию CNC повышает общую гибкость производственной линии;
- минимальное вмешательство в работу оборудования, отсутствие контакта с инструментом уменьшает вероятность повреждения и продлевает срок службы измерительного оборудования;

– универсальность применения, система подходит для широкого спектра материалов и типов инструментов благодаря адаптивной настройке оптики и программного обеспечения.

Однако важно учитывать ограничения метода. К ним относятся зависимость точности измерений от уровня загрязнения рабочей зоны, требования к условиям освещения и невозможность прямого контактирования с объектом исследования [5].

Видеоизмерительная техника широко применяется в металлообрабатывающей промышленности, машиностроении, аэрокосмической отрасли и медицине. Примером успешного внедрения может служить проект разработки автоматической системы диагностики состояния фрезерных резцов на предприятии ОАО «АвтоВАЗ».

Исследования показывают, что внедрение видеоизмерительных систем позволяет сократить потери сырья и снизить количество брака, увеличивая прибыль предприятия. Стоимость внедрений окупается за счёт повышения производительности и улучшения общего технического обслуживания оборудования [3].

Кроме того, системы применяются в исследовательских лабораториях университетов и научных центров для изучения механизмов разрушения твердых сплавов и керамических материалов. Эти знания помогают совершенствовать конструкции инструментов и разрабатывать новые покрытия и материалы, обладающие повышенной износостойкостью.

Развитие технологий видеоизмерения инструмента оказывает значительное положительное воздействие на индустрию механической обработки металлов и смежные области. Возможность точного и быстрого контроля состояния инструмента улучшает управление технологическим циклом, позволяя оптимально распределять нагрузку на оборудование и повышать качество выпускаемой продукции. Несмотря на некоторые трудности, возникающие при интеграции новых решений, опыт показывает целесообразность инвестиций в подобные проекты.

Следующим этапом развития видеоизмерительных систем должно стать дальнейшее улучшение алгоритмов распознавания образов и расширение возможностей автоматического анализа больших объемов данных. Будущие исследования направлены на создание интеллектуальных комплексов, способных самостоятельно предсказывать возникновение дефектов и предлагать меры профилактики, что позволит существенно повысить надежность и безопасность промышленных предприятий.

1 Козлов, А. А. Диагностика и прогнозирование износа режущего инструмента в реальном времени / А.А. Козлов, Р.С. Казаков // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – №4(12). – С. 56-61

2 Епифанцев, К. В. Основные принципы развития видеоизмерительных систем для «стерильных (бесконтактных) измерений» / К.В. Епифанцев // Экономика строительства. – 2022. – № 3(75). – С. 49-54.

3 Мокрицкий, Б. Я. Сравнительные измерения дефектов видеоизмерительными машинами разных производителей / Б.Я. Мокрицкий, Т.И. Усова, Е.Б. Мокрицкая, Т.Б. Ершова // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 4. – С. 46-49.

4 Поляков, А. Н. Цифровые технологии для решения задач машиностроения региона / А.Н. Поляков, И.П. Никитина, С.В. Каменев, В.А. Логинов // Актуальные научные исследования: сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 декабря 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.). – 2024. – С. 39-44.

5 Харламова, Н. Ю. Проблемы внедрения инновационных технологий в практику машиностроительных предприятий / Н.Ю. Харламова, Ф.К. Демидов // Труды Московского института стали и сплавов. Выпуск 14. – 2023. – С. 78-84.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОПЛИВНОГО БАКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬ- ЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Луценко А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: данный доклад представляет обзор систем инженерного анализа (CAE) и систем автоматизации геометрического моделирования (CAD/CAM). Проанализирована конструкция топливного бака при помощи CAE систем и получены дальнейшие данные для разработки в CAD системах.

Ключевые слова: CAD, CAM, CAE, APM FEM, Компас-3D, топливный бак.

Одним из способов повышения эффективности разработки и повышения темпа производства является применение методов компьютерного моделирования.

Главной особенностью компьютерного моделирования является относительная простота создания и модификации компьютерных моделей. Изменениям при этом подвергается только сама программа, а аппаратная составляющая остается неизменной [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В настоящее время работы по анализу конструкций РКТ, структурному синтезу и по параметрическому синтезу этих конструкций выполняются в среде автоматизированных программных комплексов, применение таких систем не только снижает затрачиваемое время на разработку, но и организует и упорядочивает работу инженера-конструктора. К таким системам относят:

- системы автоматизации геометрического моделирования (CAD/CAM-системы), к ним относят Компас3D, SolidWorks, Creо и т.д.;
- системы инженерного анализа (CAE), к ним относят MSC Nastran, Ansys, Abaqus, приложения Компас 3D и т.д.

Системы автоматизации геометрического моделирования позволяют решать:

- задачи автоматизации эскизирования;
- задачи компоновки;
- задачи автоматизации изготовления конструкторской документации;
- задачи формирования исходных данных для создания численных моделей различных аспектов функционирования изделий.

Программы данного семейства автоматически генерируют виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды,

виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели. Имеется возможность связи трёхмерных моделей и чертежей со спецификациями, то есть при «надлежащем» проектировании спецификация может быть получена автоматически; кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот.

Параметризация геометрических моделей позволяет облегчить рассмотрение вариантов выбранной схемы изделия.

Решение задач инженерного анализа путем применения САЕ-систем в настоящее время проводится посредством таких методов численного моделирования как метод конечных элементов, метод конечных разностей и др. Системы инженерного анализа позволяют решать большинство задач возникаемых при разработке, а именно:

- линейная статика и начальная устойчивость (силовая работа конструкций с постоянной жесткостью при постоянной нагрузке, например оболочка головного обтекателя РН);

- линейная динамика: собственные колебания (определение динамических характеристик конструкции и сравнение с частотными испытаниями), вынужденные колебания (моделирование вибраций), переходный процесс (исследование отклика на негармоническое динамическое возбуждение);

- нелинейная статика (моделирование силовой работы наддувных топливных баков РН или потери устойчивости стрингерных отсеков);

- нелинейная динамика (моделирование сброса головного обтекателя РН);

- аэродинамика (определение аэродинамических нагрузок);

- установившаяся теплопередача (тепловой баланс КА во время орбитального полета);

- тепловой переходный процесс (исследование эффективности системы терморегулирования при включении/выключении бортового оборудования КА);

- быстро протекающие динамические процессы (исследование аварийных ситуаций);

- и др.

На разных этапах разработки используются различные численные модели. На этапе проектирования используются модели, реализующие только принципы функционирования, заложенные в схеме изделия. Эти модели изделия содержат лишь упрощенные модели основных элементов конструкции.

На этапе конструирования используются подробные модели, отражающие особенности конструкторской проработки.

На этапе натурных испытаний для их предварительного моделирования используются модели изделия в испытательном стенде.

В качестве примера проектируемого элемента конструкции летательного аппарата рассматривается топливный бак ракеты. Форма бака цилиндрическая как наиболее встречающаяся форма. На рисунке 1 представлен вариант проектируемого топливного бака.



Рисунок 1 – Пример проектируемого топливного бака ракеты

Бак спроектируем в Компас 3D и проведем его анализ в приложении Компас 3D АРМ FEM. Бак и его крышка выполнены из материала ВТ1-0, материал крепежа Ст20. Размеры деталей показаны на рисунках 2, 3.

Система «Компас-3D» предназначена для создания трёхмерных моделей отдельных деталей (в том числе, деталей, формируемых из листового материала путём его гибки) и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы.

Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе проектированного ранее прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Система АРМ FEM представляет собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки). Подготовка геометрической 3D-модели и задание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D.

С помощью АРМ FEM можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет. При этом процедура генерации конечных элементов проводится автоматически. АРМ FEM позволяет провести следующие типы расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;

- тепловой расчет;
- топологическую оптимизацию.

Для бака был применен статический расчет. Результатами расчета являются:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений;
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений;
- распределение деформаций по элементам модели;
- распределение коэффициентов запаса по текучести и прочности;
- координаты центра масс, масса, моменты инерции модели;
- суммарные реакции, приведенные к центру масс модели.

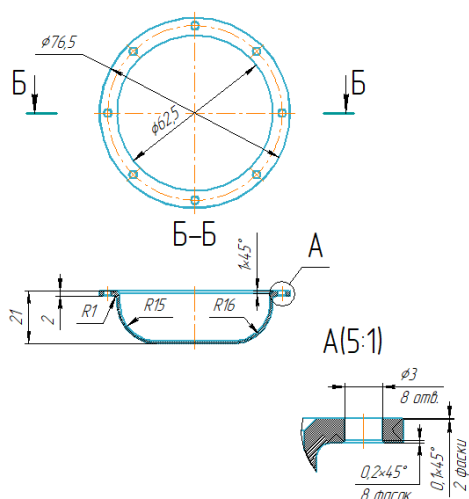


Рисунок 2 – Размеры первой детали

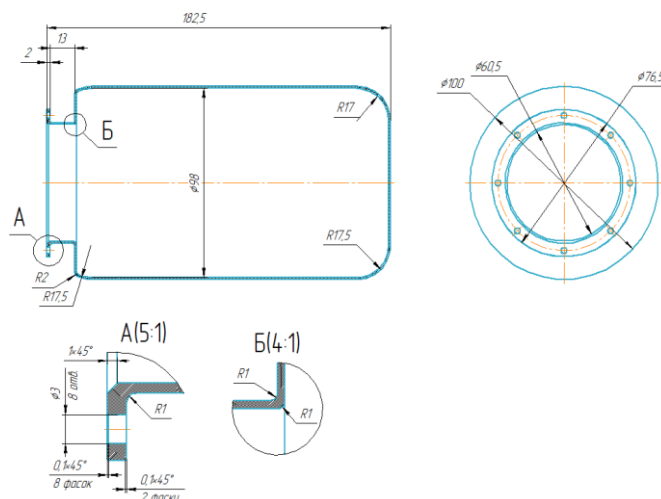


Рисунок 3 – Размеры второй детали

Для анализа конструкции примем внутреннее давление равным 100000 Н/мм^2 , закрепление по опорным поверхностям, соединения между телами имеют жесткий контакт (рисунок 4).

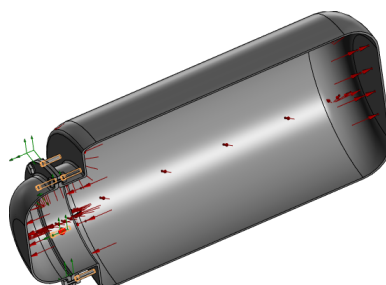


Рисунок 4 – Расположение закреплений и нагрузки

Создадим сетку конечных элементов, показанную на рисунке 5, и произведем расчет нагрузок (рисунок 6) и расчет перемещений (рисунок 7).

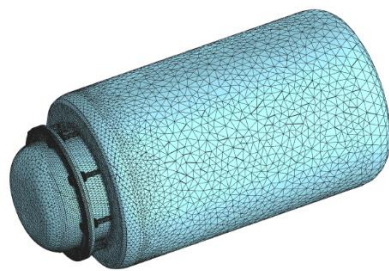


Рисунок 5 – Сетка конечных элементов

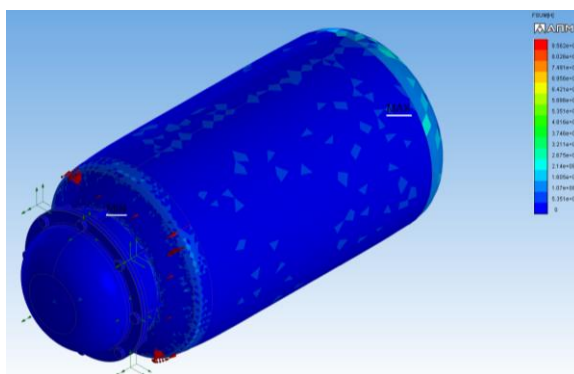


Рисунок 6 – Карта нагрузок

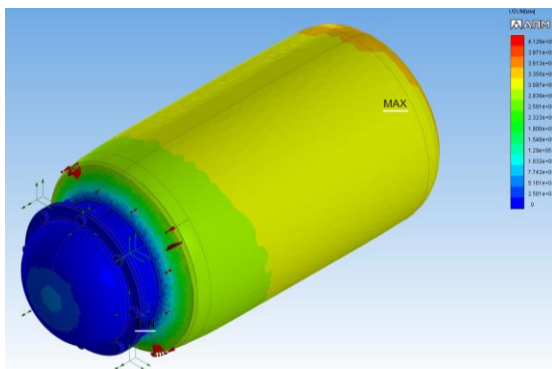


Рисунок 7 – Карта перемещений

При помощи данных карт расчета можно увидеть, что от внутреннего давления бак растягивает в сторону днища. Для улучшения конструкции следует поменять форму горла бака и контур бака сделав их более обтекаемыми. Так же видно, что крышка и крепеж не испытывают сильные нагрузки и изменений не требуют. Изменения конструкции показаны на рисунках 8 и 9.

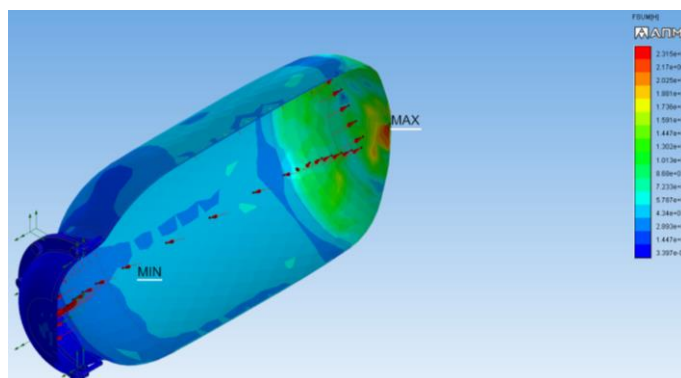


Рисунок 8 – Карта нагрузок измененного бака

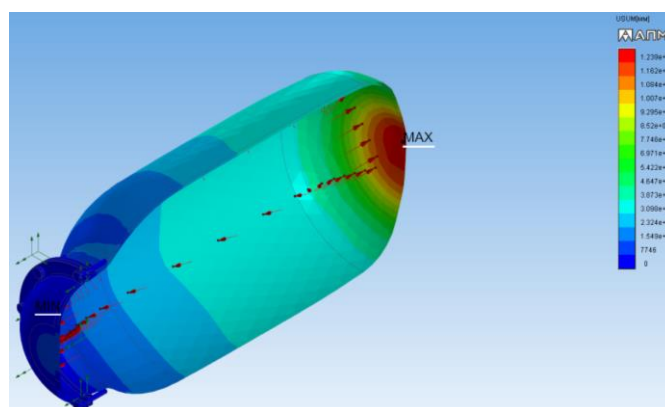


Рисунок 9 – Карта перемещений измененного бака

Результатом изменения конструкции и расчетов являются, что давление внутри бака равномернее распределено по всему контуру, перемещения бака стали меньше. Из-за более равномерного распределения давления, бак испытывает меньшие нагрузки в сравнении с прошлой версией.

CAE и CAD системы позволяют разрабатывать сложные сборки и просчитывать множество видов нагружений и изменений конструкции, повышая эффективность проектирования.

CAD системы позволяют создавать как простые технические чертежи, так и сложные трёхмерные модели любой степени детализации. Профессиональные CAD-решения содержат обширные библиотеки стандартных элементов, материалов и компонентов, что значительно ускоряет процесс проектирования и снижает вероятность ошибок. Современные системы поддерживают работу с большими сборками, содержащими миллионы элементов, и позволяют организовывать совместную работу нескольких специалистов над одним проектом.

CAE системы играют ключевую роль в проверке работоспособности и надёжности конструкций ещё на этапе проектирования. С помощью CAE можно провести различные виды анализа: прочностной, тепловой, гидродинамический

и многие другие. Программы способны смоделировать реальные условия эксплуатации и выявить потенциальные проблемы задолго до начала производства. Это позволяет существенно снизить затраты на доработку и тестирование физических прототипов.

Список литературы

1 Аншаков, Г. П. Имитационные модели для создания и эксплуатации ракетно-космических комплексов: учебное пособие / Г.П. Аншаков, Д.А. Баранов, С.Л. Сафронов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 184 с.

2 Баранов, Д. А. Типовые решения в проектировании и конструировании элементов ракет-носителей: учеб. пособие / Д.А. Баранов, В.Д. Еленев. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 112 с.

3 Леонов, В. И. Расчет баков летательных аппаратов на прочность и устойчивость: учеб. пособие / В.И. Леонов. – Куйбышев, Куйбышевский авиационный ин-т., 1990. – 74 с.

4 Чечулин, Б. Б. Титановые сплавы в машиностроении / Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, И.Н. Разуваева, В.Н. Гольдфайн. – Л.: Машиностроение, 1977. – 248 с.

5 Амелина, Е. В. Расчетно-экспериментальная оценка прочности металлокомпозитного бака высокого давления [Электронный ресурс] / Е.В. Амелина, А.Е. Буров, С.К. Голушко, А.М. Лепихин, В.В. Москвичев, А.В. Юрченко. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetno-eksperimentalnaya-otsenka-prochnosti-metallokompozitnogo-baka-vysokogo-davleniya> (дата обращения 08.09.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ляшко И.Ю.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в данной статье рассматривается проблема устойчивости неоднородных тонкостенных конструкций, которые находят широкое применение в различных отраслях инженерии, таких как строительство, авиация и автомобилестроение. В качестве основного инструмента анализа используется энергетический метод, основанный на принципе минимизации энергии, который позволяет оценить устойчивость конструкций через анализ потенциальной и кинетической энергии системы.

Ключевые слова: устойчивость, энергетический метод, критическая нагрузка, проектирование, моделирование, неоднородность материалов.

Устойчивость конструкций является важным аспектом инженерии и проектирования различных сооружений. Тонкостенные конструкции широко используются в авиационной, космической и строительной промышленности благодаря своей легкости и прочности. Однако, такие конструкции подвержены различным видам неустойчивости, включая потерю формы, деформацию и разрушение.

Энергетический метод представляет собой эффективный инструмент для анализа устойчивости таких конструкций. Этот метод основан на принципе минимизации потенциальной энергии системы, позволяя предсказывать критические нагрузки и деформации. Он позволяет оценивать устойчивость элементов конструкции путем анализа изменения потенциальной энергии системы. Рассмотрим применение такого подхода к задаче устойчивости прямоугольной пластинки с отверстием [1].

Рассмотрим прямоугольную пластинку толщиной h , длиной a и шириной b . Внутри пластинки имеется круглое отверстие радиуса r , расположенное симметрично относительно центра пластинки. Пластика находится под действием равномерно распределенной нагрузки q .

Задача состоит в определении критической нагрузки, при которой пластинка теряет свою первоначальную форму равновесия, то есть возникает потеря устойчивости.

При потере устойчивости формы пластинки изменяется её конфигурация. Для оценки устойчивости используется принцип минимального увеличения потенциальной энергии деформаций ΔU , которое должно удовлетворять условию стационарности:

$$\delta(\Delta U + W) = 0, \quad (1)$$

где ΔU – изменение потенциальной энергии деформации пластинки;
 W – работа внешних сил.

Потенциальная энергия деформации зависит от типа нагружения и геометрических характеристик пластинки. Для пластинок выражение для потенциальной энергии имеет вид:

$$\Delta U = \frac{D}{2} \iint_{\Omega} (\nabla^2 \omega)^2 dA, \quad (2)$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластинки (E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона);
 $\omega(x, y)$ – прогиб пластинки;
 Ω – область интегрирования (площадь пластинки).

Работа внешних сил определяется выражением:

$$W = - \iint_{\Omega} q \omega dA. \quad (3)$$

Исследование устойчивости подкрепленных пластин с отверстиями представляет собой важную инженерную задачу, поскольку такие конструкции часто встречаются в различных областях техники и строительства. Примером могут служить авиационные панели, элементы строительных конструкций, оболочки трубопроводов и другие изделия, подверженные воздействию значительных механических нагрузок [2].

Цель данной работы заключается в анализе поведения упругих пластин с отверстием при действии сжимающих усилий и оценке их устойчивости. Рассматриваются различные типы закрепления краев пластинки и влияние подкрепляющих ребер жесткости.

Анализ устойчивости пластин основан на следующих ключевых положениях: принцип виртуальных работ, исходное состояние пластинки считается устойчивым, если малые возмущения приводят лишь к бесконечно малым изменениям формы; критерий Эйлера, критическая нагрузка, при которой пластинка

переходит в новое положение равновесия, соответствует значению, при котором полная потенциальная энергия системы достигает своего максимума; метод конечных элементов используется для построения конечно-элементной модели и вычисления собственных форм колебаний и критических нагрузок; методы асимптотического разложения применяются для приближенного нахождения критических значений нагрузки [3]. Рассматривается прямоугольная пластинка размером axb , толщина h . Внутри пластинки расположено центральное круговое отверстие диаметром D . Края пластинки закреплены жестко или шарнирно. Подкрепление осуществляется продольными и поперечными ребрами жесткости, расположенными параллельно сторонам пластинки.

Требуется определить критическую нагрузку, при которой пластинка теряет устойчивость. Отверстие создает области концентрации напряжений вблизи границ отверстия. Необходим учет эффекта концентрации напряжений в расчетах. Ребра препятствуют образованию волновых форм деформации. Необходимо правильно выбрать размеры и расположение ребер для достижения оптимального результата. Типичные результаты включают в себя графики зависимости критической нагрузки от размеров отверстия и шага расположения ребер, а также картины распределения напряжений и деформаций в пластинке.

Полученные данные полезны инженерам-конструкторам для проектирования надежных и экономичных конструкций, используемых в авиации, судостроении, строительстве и машиностроении. Данная статья основана на результатах исследований авторов, опубликованных ранее в научных журналах и конференциях. Однако конкретные формулы и графики зависят от конкретных условий задачи и используемого программного обеспечения.

Проблема устойчивости гладких пластин с окантованным отверстием относится к классическим вопросам строительной механики и прикладной математике. Такие конструкции широко применяются в авиастроении, кораблестроении, архитектуре и машиностроении. Наличие отверстия существенно усложняет поведение пластинки под нагрузкой, особенно при условии возникновения потерь устойчивости [4].

Цель данной работы – исследование поведения пластинки при воздействии осевых сжимающих усилий и оценка предельной нагрузки, при которой возможна потеря устойчивости. Особое внимание уделяется влиянию окантовки отверстия на устойчивость пластинки.

Исследуется гладкая прямоугольная пластинка размерами axb , имеющая внутри круглое отверстие диаметром d , окантованное усиливающими элементами (ребрами). Пластинка подвергается действию равномерного давления вдоль оси x (осевое сжатие). Требуется определить критическую нагрузку, при которой

произойдет потеря устойчивости пластинки. Дифференциальное уравнение изгибающего момента для тонкой пластины принимает вид:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q}{D}, \quad (4)$$

где $\omega(x, y)$ – перемещение точки поверхности пластинки;

q – приложенная нагрузка;

D – цилиндрическая жёсткость пластинки, зависящая от модуля упругости материала, толщины и коэффициента Пуассона.

Граничные условия соответствуют жесткой заделке краев пластинки и наличию укрепляющего кольца около отверстия. Расчет выполняется методом конечных элементов для точной оценки собственного спектра частот и выявления критических точек потери устойчивости. Окантовка отверстия играет существенную роль в повышении общей прочности и стабильности пластинки. Она уменьшает вероятность появления местных зон разрушения и предотвращает распространение трещин. Проведенные расчеты показывают зависимость критической нагрузки от диаметра отверстия, ширины пластинки и свойств материала. Окантовка значительно повышает предел устойчивости пластинки, позволяя выдерживать большие внешние усилия.

Полученные результаты помогают оптимизировать конструкцию изделий, повысить их надежность и долговечность. Вопросы устойчивости неоднородных тонкостенных конструкций являются важнейшими аспектами современной строительной механики и конструкционной инженерии. Тонкостенные структуры находят широкое применение во многих отраслях промышленности: авиационная техника, автомобильная промышленность, строительство зданий и сооружений, химическое оборудование. Его преимущества заключаются в универсальности, возможности учета начальных несовершенств и высокой точности даже при сложных условиях нагружения и прикрепления. Кроме того, использование энергетического метода способствует развитию инженерных методик и вычислительных инструментов для автоматизации процесса проектирования, оптимизации рабочих режимов оборудования и сокращения временных и финансовых затрат [5].

Список литературы

1. Вестяк, В.А. Одномерные нестационарные волны в электромагнитно-упругом полупространстве или слое / В.А. Вестяк, В.А. Лемешев, Д.В. Тарлаковский // Доклады Российской академии наук. – 2009. – Т. 426. – № 6. – С. 747-749.

2. Вшивков, С.А. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие / С.А. Вшивков, И.С. Тюкова, Е.В. Русинова ; под общ. ред. С.А. Вшивкова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 230 с. : ил. – Библиогр.: с. 224–226. – 30 экз. – ISBN 978-5-7996-3436-0.

3. Горшков, А.Г. Теория упругости и пластичности: учеб. для вузов / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 416 с.

4. Глушков, Е.С. Статика и динамика композитных тонких структур / Е.С. Глушков, Н.М. Матченко, Ю.В. Глушкова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.

5. Ильюшин, А.А. Механика сплошной среды / А.А. Ильюшин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 287 с.

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В АВИАСТРОЕНИИ

Магдин А.Г., канд. техн. наук, Припадчев А.Д., д-р техн. наук,
профессор, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент,
Калинина И.С., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: работа посвящена проблематике цифровизации производственных процессов в авиастроении. В рамках данной работы проводится комплексный анализ теоретических и практических аспектов внедрения цифровых технологий, направленных на оптимизацию и повышение эффективности производственных цепочек. Особое внимание уделяется вопросам интеграции автоматизированных систем управления, внедрению аддитивных технологий и использованию искусственного интеллекта для прогнозирования и принятия решений в реальном времени.

Ключевые слова: цифровое производство, авиастроение, автоматизация производственных процессов, искусственный интеллект.

Цифровое производство представляет собой современный подход к организации производственных процессов, основанный на интеграции передовых цифровых технологий. В авиационной промышленности, отличающейся высокой сложностью и строгими требованиями к качеству, цифровизация становится ключевым фактором для повышения конкурентоспособности и эффективности. Согласно исследованию, в 2020 году объём рынка цифрового производства в авиации составил 3,2 миллиарда долларов США, а его рост до 5,7 миллиарда долларов к 2026 году подчеркивает возрастающую значимость данной области. Цифровая трансформация промышленных предприятий «предполагает использование потенциальных возможностей аддитивных технологий на всех этапах производства с целью существенного повышения гибкости и адаптивности к запросам клиентов» [1]. Это подтверждает, что внедрение цифровых решений не только оптимизирует производственные процессы, но и обеспечивает более быструю реакцию на изменения в потребительских предпочтениях.

Современное авиастроение сталкивается с рядом серьёзных вызовов, включая высокую стоимость разработки новых моделей, необходимость сокращения сроков их вывода на рынок и повышение требований к качеству и безопасности. Например, согласно данным Boeing, в 2019 году средняя стоимость разработки нового самолёта превышала 15 миллиардов долларов, что делает поиск инновационных и эффективных методов производства крайне актуальным.

Применение цифровых технологий в производстве авиационных двигателей демонстрирует значительный потенциал. Например, компания Rolls-Royce, используя цифровые методы, смогла снизить затраты на производство на 20%, что подтверждает экономическую эффективность цифрового подхода. С другой стороны, «определяя перспективы цифровой трансформации предприятий воздушного транспорта, Россия стремится активно использовать зарубежный опыт цифровизации» [4]. Интеграция цифровых технологий в авиационную отрасль может привести не только к снижению затрат, но и к повышению конкурентоспособности на мировом рынке, что делает этот процесс важным для развития всей отрасли. Цифровое производство включает в себя разнообразные технологии, такие как 3D-печать, цифровые двойники, автоматизация процессов и применение искусственного интеллекта. Эти инновации значительно повышают эффективность и точность производственных процессов. При этом важно учитывать, что «сегодня происходит активное развитие киберфизических систем и переход к этапу интеграции с бизнес-процессами – цифровому производству и цифровой экономике» [5].

3D-печать играет важную роль в современном авиастроении, позволяя создавать сложные компоненты с высокой точностью и меньшими затратами. Например, компания GE Aviation использует эту технологию для производства топливных форсунок, что позволило сократить их вес на 25 % и повысить эффективность работы двигателей. Цифровые двойники представляют собой виртуальные модели физических объектов, которые используются для анализа и оптимизации их работы. В компании Airbus применение цифровых двойников позволило сократить затраты на техническое обслуживание на 15 % благодаря прогнозированию износа деталей.

Автоматизация процессов является неотъемлемой частью цифрового производства. На заводах Boeing автоматизация сборочных линий привела к увеличению производительности на 50 % и снижению количества дефектов на 30 %, что демонстрирует её эффективность. Примером успешного внедрения цифрового производства является использование компанией Airbus платформы Dassault Systèmes для цифрового проектирования. Это позволило улучшить координацию между различными подразделениями и повысить общую эффективность.

Одним из ключевых преимуществ цифрового производства является возможность значительного сокращения времени на разработку новых моделей самолётов. По оценкам, благодаря более точному проектированию и моделированию, этот срок может быть уменьшен на 20 % - 30 %. Цикл изделия включает в себя такие этапы, как разработка эскиза и макета, 2D/3D-моделирование и визуализация, инженерные расчеты и привязка проекта к производству. Как отмечает

Гришин, «от генерации идеи до эксплуатации» важно учитывать, что интеграция цифровых технологий на каждом из этих этапов способствует не только ускорению процессов, но и повышению точности и качества конечного продукта [2].

Несмотря на свои преимущества, цифровое производство имеет и ограничения. Основным из них являются значительные инвестиции, необходимые для внедрения технологий, которые могут составлять до 10% от общего бюджета проекта, что может быть препятствием для некоторых компаний. Цифровое производство положительно влияет на качество и безопасность самолётов. Например, применение этих технологий позволило снизить количество дефектов в авиационных деталях на 40 %, что напрямую связано с повышением безопасности полётов. Экономическая эффективность цифрового производства подтверждается исследованиями. Согласно данным McKinsey, цифровизация производственных процессов может снизить операционные затраты авиастроительных компаний на 15 % - 20 %, что делает её привлекательной с финансовой точки зрения.

Перспективы цифрового производства в авиастроении напрямую зависят от дальнейшего развития технологий. Ожидается, что к 2030 году технология цифровых двойников станет стандартом для всех крупных авиастроительных компаний, что существенно изменит подходы к производству [6]. Вместе с тем аддитивные технологии печати уже находят широкое применение: «В будущем планируют полностью собирать самолёты из сложных деталей, напечатанных на 3D принтере» [3]. Интеграция этих технологий позволит значительно повысить эффективность и гибкость производственных процессов в отрасли.

Цифровое производство открывает значительные возможности для повышения эффективности и качества в авиастроении. В частности, «ASSYSTEM специализируется в производственном проектировании для авиастроительных заводов и в консалтинге по инновациям для внедрения и интеграции систем авиастроения». Инвестиции в обучение персонала и разработку стандартов играют ключевую роль в успешном внедрении технологий.

Список литературы

1. Абрамов, И. В. Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий / И. В. Абрамов // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15. – № 2.
2. Автоматизированная разработка технологических регламентов производства веществ особой чистоты на основе информационных CALS-технологий / Т. И. Степанова, А. М. Бессарабов, М. А. Гришин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 14. – С. 218-225.

3. Гармаш, С. В. Перспективы использования аддитивных технологий в авиастроении / С. В. Гармаш // Новые горизонты – БНТУ, 2016. – С. 115-116.
4. Демин, С.С. Перспективы цифровой трансформации предприятий воздушного транспорта / С.С. Демин, Н.С. Столяров, А.А. Семенова // Экономика и управление народным хозяйством. – 2019. – № 9. – С. 30–31.
5. Зегжда, Д.П. Кибербезопасность прогрессивных производственных технологий в эпоху цифровой трансформации / Д.П. Зегжда, Ю.С. Васильев, М.А. Полтавцева, И.Ф. Кефели, А.И. Боровков // Вопросы кибербезопасности. – 2018. – № 2(26).
6. Подборнова Е. С. Влияние цифровых двойников на оптимизацию бизнес-процессов промышленных предприятий // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2024. – Т. 15. – № 4. – С. 177–186.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

**Матушкин И. С., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в данной статье рассматривается использование имитационных моделей в автоматизации тестирования промышленных шкафов автоматики, приводятся схемы взаимодействия системы тестирования и тестируемого шкафа автоматики, требования к имитационным моделям

Ключевые слова: автоматизация, тестирование, промышленный шкаф автоматики, ПЛК, SCADA

Основным элементом промышленного шкафа автоматики является программируемый логический контроллер или программируемое реле, обеспечивающие обработку сигналов полевого уровня, то есть значений с датчиков, контролирующих параметры технологического процесса, и формирование управляющего сигнала для исполнительных механизмов. Для корректной работы автоматизированных систем важны как адекватность разработанной для ПЛК управляющей программы, так и корректность подключения входов и выходов ПЛК, коммутаций внутри шкафа автоматики.

И в разработке управляющей программы для АСУ ТП, и в сборке промышленного шкафа автоматики для этого же АСУ ТП возможны ошибки, связанные с человеческим фактором. Выявление этих ошибок до установки шкафа автоматики на объекте позволит предотвратить связанные с ними аварии и снизить затраты на проведение пусконаладочных работ.

Для осуществления подобного тестирования необходима разработка имитационной модели технологического процесса и её реализация в виде программы, обеспечивающей имитацию значений контролируемых параметров технологического процесса в зависимости от величины управляющих воздействий. Данная программа может исполняться как в ещё одном ПЛК, подключенном по «зеркальному принципу» – входы тестируемого к выходам моделирующего контроллера и наоборот, так и внутри ПЛК промышленного шкафа, так и внутри среды SCADA. Структурная схема организации тестирования промышленного шкафа автоматики с использованием SCADA представлена на рисунке 1.

Использование SCADA с исполнением программы, моделирующей технологический процесс на ПК, представляется наиболее рациональной, поскольку

для «зеркального метода» сложных технологических процессов может потребоваться значительное число входов и выходов, что подразумевает наличие свободного, незадействованного ПЛК и соответствующего числа модулей расширения, полностью обеспечивающих коммутацию. Встраивание имитационной модели в управляющую программу ПЛК приводит к большим затратам памяти и большему времени исполнения программы, усложняет дальнейшую разработку и модификацию управляющей программы.

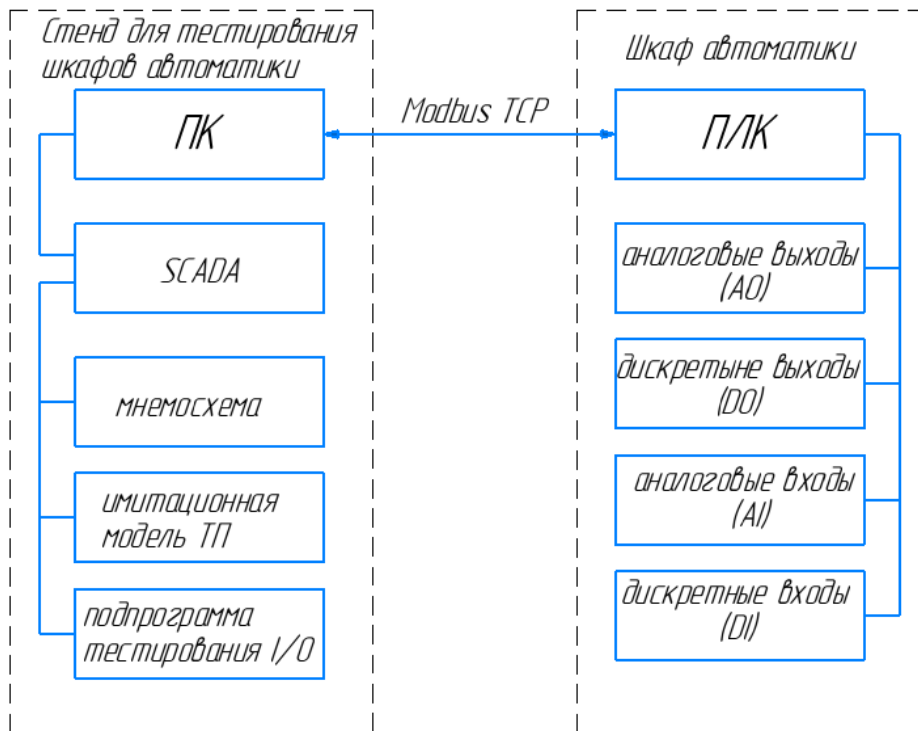


Рисунок 1 – Структурная схема стенда и подключенного к нему шкафа автоматики

Использование SCADA с исполнением программы, моделирующей технологический процесс на ПК, представляется наиболее рациональной, поскольку для «зеркального метода» сложных технологических процессов может потребоваться значительное число входов и выходов, что подразумевает наличие свободного, незадействованного ПЛК и соответствующего числа модулей расширения, полностью обеспечивающих коммутацию. Встраивание имитационной модели в управляющую программу ПЛК приводит к большим затратам памяти и большему времени исполнения программы, усложняет дальнейшую разработку и модификацию управляющей программы.

Структурная схема взаимодействия SCADA и ПЛК при автоматизированном тестировании приведена на рисунке 2. Все вычисления, связанные с имитационной моделью и изменениями в ней в зависимости от подаваемых с ПЛК управляющих сигналов осуществляются вычислительными средствами ПК. Те-

стирование может проходить как в ручном режиме, что предусматривает создание в SCADA отдельного интерфейса для управления и проведения тестирования, так и в автоматизированном, по предварительно разработанным сценариям. В таком случае человеку предоставляется отчёт о результатах, решение о соответствии или несоответствии управляющей программы цели управления принимает человек.

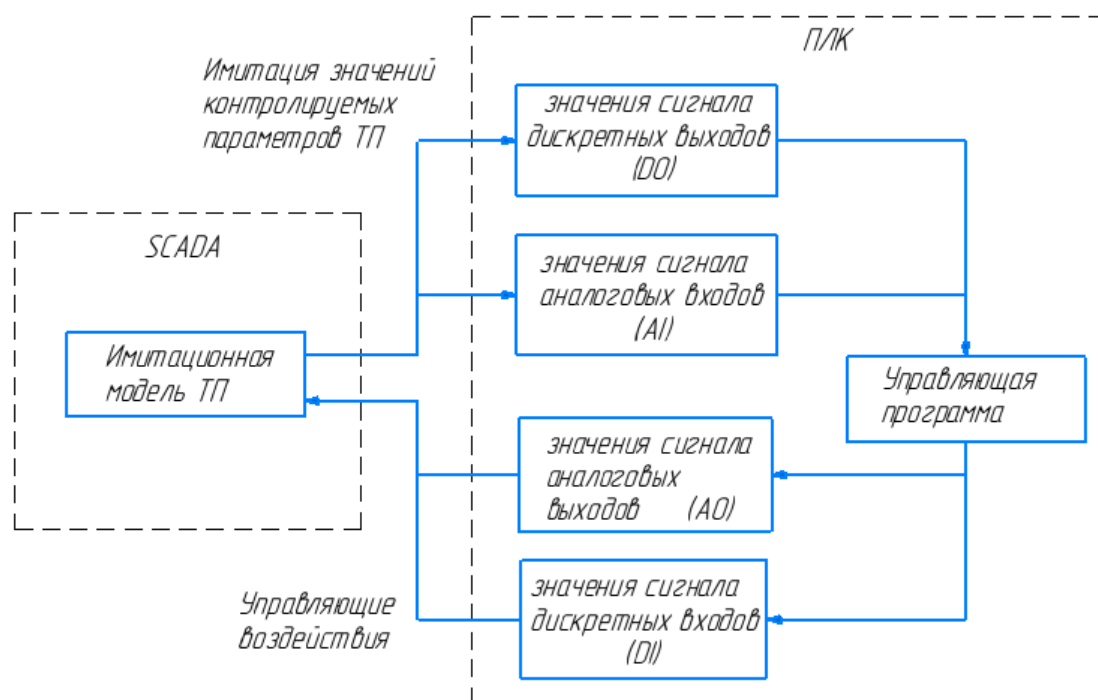


Рисунок 2 – Структурная схема взаимодействия при автоматизированном тестировании

К используемой имитационной модели предъявляются следующие требования:

- модель должна отображать сущность технологического процесса, требования к точности при этом могут быть занижены;
- диапазон изменения переменных имитационной модели должен быть заранее задан и ограничен;
- модель должна предусматривать возможность к переходу в начальное состояние в любой момент времени;
- модель должна быть максимально простой и описывать только те элементы, которые непосредственно участвуют в управлении или существенно влияют на него;
- модель должна иметь возможность работать в реальном, ускоренном или замедленном масштабе времени.

Создание имитационной модели технологического процесса оправдано для тестирования серийных шкафов автоматики, когда параметры технологического процесса незначительно отличаются, и разработанную модель можно в краткий срок адаптировать для каждого отдельного технологического объекта, что ускоряет переход к этапу пусконаладочных работ.

По результатам тестирования можно сделать вывод о адекватности разработанной управляющей программы и соответствии входов и выходов ПЛК и его модулей расширения тем или иным датчикам и исполнительным механизмам, обнаружить ошибки в подключении оборудования внутри шкафа. Контроль правильности подключения промышленного шкафа автоматики непосредственно на объекте осуществляет человек.

Список литературы

1. Луцкая, Н.Н. Создание имитационных моделей технологических процессов для отладки программ ПЛК и проектов SCADA/HMI / Н.Н. Луцкая, А.Н. Пупена, С.Н. Швед // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 7. – С. 50-54.
2. Матушкин, И.С. Возможный способ автоматизации процесса испытания промышленного шкафа автоматики / И.С. Матушкин, Д.А. Проскурин // Школа-семинар молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства : материалы Школы-семинара, Оренбург, 14 ноября 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 212-215.

РЕАЛИЗАЦИЯ СЕЧЕНИЯ В VR-САПР ДЛЯ РАБОТЫ С STL МОДЕЛЯМИ

Михеев Д.Н., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассмотрена реализация функции сечения в системе автоматизированного проектирования (САПР) с элементами виртуальной реальности для работы с STL-моделями. Описаны методы сечения полигональных моделей, реализованный геометрический подход на базе Unity с XR Toolkit. Разработка ориентирована на VR-гарнитуру Oculus Quest 2.

Ключевые слова: САПР, STL-модели, сечение, виртуальная реальность, Unity, XR Toolkit.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) с интеграцией виртуальной реальности (VR) обеспечивают интуитивное взаимодействие с трехмерными моделями. Формат STL, представляющий полигональную сетку из треугольников, широко применяется в инженерии, медицине и образовании [1]. Реализация сечения в САПР необходима для анализа внутренней структуры и редактирования моделей. Актуальность темы обусловлена расширением функционала VR-инструментов для обработки STL-моделей, где традиционные CAD-системы ограничены плоскими экранами. Цель статьи – описать реализованную функцию сечения в VR-САПР.

Сечение полигональных моделей, таких как STL, подразумевает разделение меша плоскостью с сохранением геометрии. Основные методы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы сечения полигональных моделей

Название метода	Описание	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4
Геометрическое сечение на основе плоскости	Модель делится на две части путем пересечения треугольников с плоскостью. Вычисляется позиция вершин относительно	Простота реализации, точное разделение геометрии, подходит для редактирования и экспорта.	Вычислительно затрачен для больших моделей, требует перестройки меша.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
	плоскости (по знаку скалярного произведения с нормалью), пересекающиеся треугольники разбиваются на новые полигоны [2].		
Шейдерное сечение	Используются GPU-шейдеры для динамического отсечения фрагментов без изменения геометрии. В Unity реализуется через Clip Plane, где пиксели отбрасываются по уравнению плоскости [3].	Высокая производительность в реальном времени, не меняет исходный mesh.	Ограничено визуализацией, не создает новые объекты.
Булевы операции с CSG (Constructive Solid Geometry)	Сечение как пересечение меша с примитивом (плоскостью). Используются библиотеки вроде C3D B-Shaper для точных операций [4].	Точные результаты, интеграция с CAD-системами.	Высокая вычислительная сложность, не подходит для реального времени в VR.
Воксельное сечение	Модель вокселизуется, сечение применяется к вокселям, затем реконструируется mesh (например, Marching Cubes) [5].	Эффективно для объемных данных, анализ внутренней структуры.	Потеря точности оригинальной геометрии, дополнительные вычисления.

В разработанной САПР на базе Unity 6000.0.2f1 с библиотеками OpenXR и XR Interaction Toolkit реализован геометрический метод сечения с использованием прозрачной плоскости, привязанной к контроллеру VR-гарнитуры Oculus Quest 2. Функциональные требования включают загрузку STL-модели, наложение плоскости, настройку позиции и угла, разделение на две части.

Сечение происходит следующим образом: сначала пользователь выбирает добавленный на сцену объект из списка (рисунок 1), на объект накладывается плоскость, визуализируемая как полупрозрачный объект.



Рисунок 1 – Меню «Список объектов»

Меню «Настройка сечения» (рисунок 2) включает слайдеры для блокировки осей (X, Y, Z) и угла поворота (Angle). Плоскость позиционируется через Transform компонент, связанный с контроллером в Unity.



Рисунок 2 – Меню «Настройка сечения»

Сечение выполняется скриптом при нажатии кнопки «Применить»: для каждого треугольника STL-меша вычисляется пересечение с плоскостью. Вер-

шины классифицируются (выше/ниже плоскости), создаются новые треугольники. Используется класс Triangle для хранения вершин и нормалей (из скрипта STL_Reader). После применения генерируются два новых меша: один выше плоскости, другой ниже. Примеры результатов: сечение при 270° и 290° относительно оси X (рисунки 3 и 4).

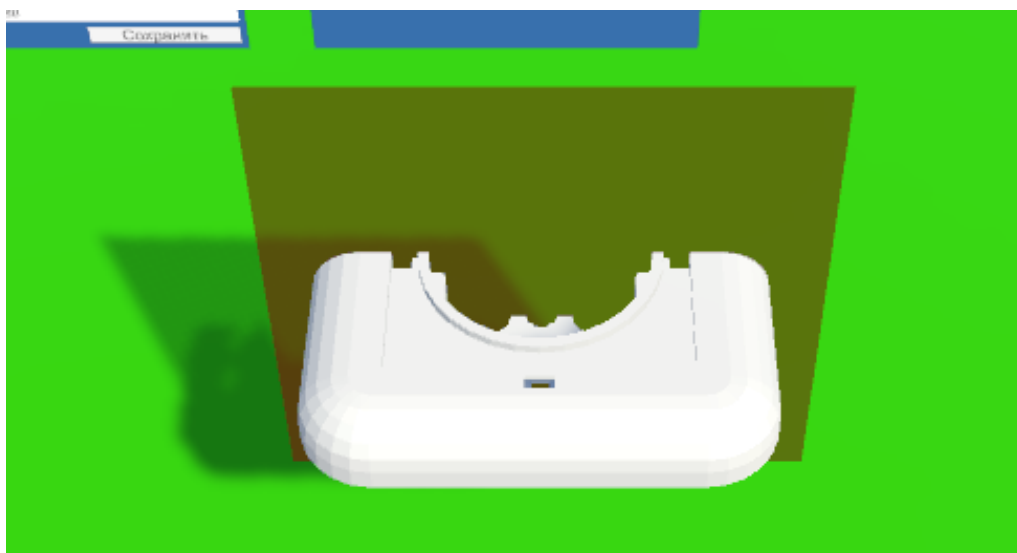


Рисунок 3 – Объект с сечением при угле поворота плоскости 270° градусов относительно оси X

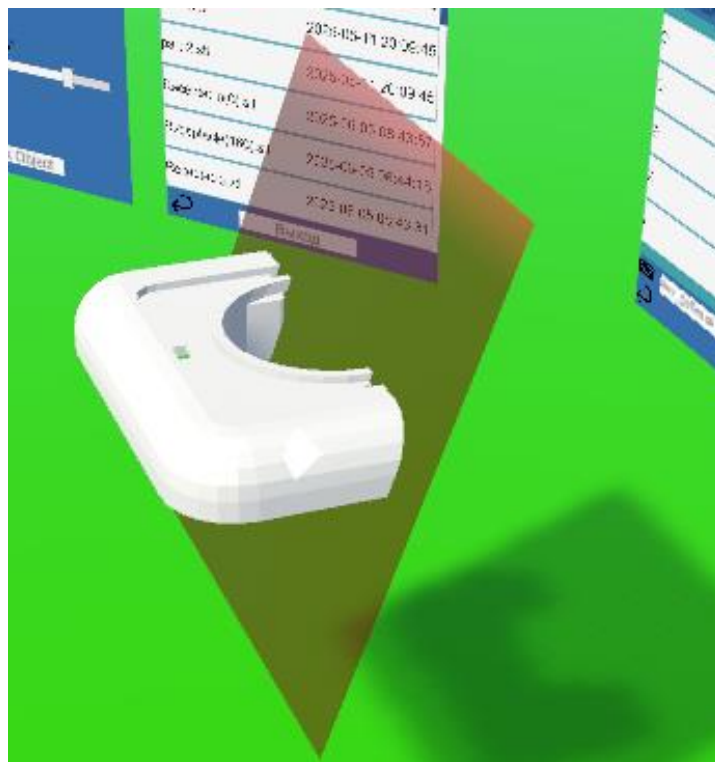


Рисунок 4 – Объект с сечением при угле поворота плоскости 290° градусов относительно оси X

Система разделена на три слоя:

- слой ввода данных: обработка STL-файлов через скрипт STL_Reader (поддерживаются как бинарные, так и текстовые форматы);
- слой обработки: алгоритм сечения, интегрированный с XR Interaction Toolkit для управления плоскостью;
- слой визуализации: рендеринг разделенных мешей в VR с использованием Unity Renderer.

Метод обеспечивает стабильность (время восстановления <5 сек) и совместимость с моделями до 21000 треугольников как минимум, что подтверждено тестированием в VR.

Реализованное сечение в VR-САПР для STL-моделей расширяет возможности редактирования, обеспечивая интуитивное взаимодействие. Геометрический метод выбран за простоту и точность, а многослойная архитектура обеспечивает масштабируемость. Разработка применима в инженерии, образовании и медицине.

Список литературы

1 Полевода, И. И. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / И. И. Полевода, А. Г. Иваницкий, А. С. Миканович, С. М. Пастухов, А. В. Грачулин, В. Н. Рябцев, О. Д. Навроцкий, А. О. Лихоманов, Г. В. Винярский, И. С. Гусаров // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-v-obrazovatelnom-protsesse> (дата обращения: 10.09.2025).

2 Гомяук, С. И. Методы описания геометрических областей в САПР / С. И. Гомяук // Информационные технологии в науке, образовании и производстве. – 2008. – № 1. – С. 26-30. – URL: https://web.znu.edu.ua/herald/issues/2008/mat_2008_1/2008-26-06/gomenyuk.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

3 Сидоров, Е. А. Шейдеры в Unity: Практическое руководство / Е. А. Сидоров. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 198 с.

4 Ланг, Н. В. Новые направления использования 3D-моделирования / Н. В. Ланг, М. М. Шляхова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-napravleniya-ispolzovaniya-3d-modelirovaniya> (дата обращения: 10.09.2025).

5 Шакаев, В. Д. Разработка и исследование алгоритмов реконструкции 3D-поверхностей на основе воксельных моделей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. Д. Шакаев; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2023. – 176 с. – URL:

<https://www.vstu.ru/upload/iblock/d6b/d6b39e94a85205ec02495af30f94605e.pdf>

(дата обращения: 10.09.2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРТ РАСКРОЯ

Московцева О.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в последние годы задача минимизации отходов при раскрое материала на производстве является ключевой для повышения экономической эффективности. Ручное проектирование карт раскроя все чаще становится неактуально и трудоемко, что приводит к оптимизации процессов в машиностроении.

Ключевые слова: нестинг, раскладка деталей, оптимизация раскроя, листовой материал, фигурный раскрой.

В 90-х годах двадцатого века произошло слово «нестинг», перевод которого с английского языка означает, как «раскладывать, совмещать» [1]. Данное понятие до сих пор используется, и ведутся разговоры об оптимизации раскладки деталей на листе. Более интересной темой, является оптимальный расклад деталей различных форм и размеров.

Раскладка деталей – это процесс размещения компонентов на листовой материал, такой как лист металла, плита, ткань и так далее, с целью минимизации отходов и оптимизации использования данного материала. Автоматизированная раскладка с наименьшими отходами позволяет сократить время обработки, снизить затраты на материалы и улучшить общую производительность.

С.И. Вдовин в своем учебном пособии «Оптимизация раскроя материалов в машиностроении» отмечает три вида простой раскладки деталей:

- одномерный раскрой (задача линейного программирования);
- гильотинный раскрой листа на одинаковые прямоугольники (динамическое программирование);
- фигурный раскрой однорядной/двухрядной вырубки.

Данную тему можно рассмотреть на примере фигурного раскроя деталей двухрядной вырубки, где деталь размещают на листе, а последующую переворачивают на 180°. Пример раскроя деталей двухрядной вырубки изображен на рисунке 1.

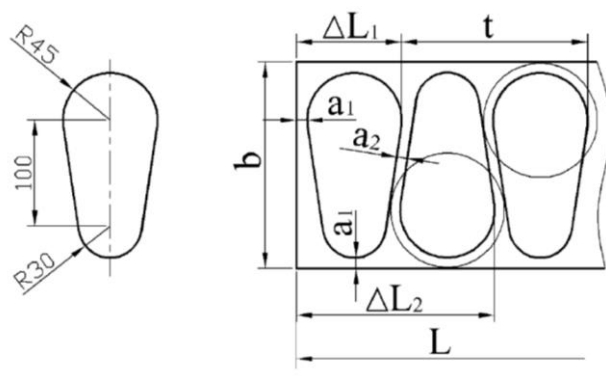


Рисунок 1 – Пример раскроя деталей двухрядной вырубki

В свою очередь Ф.В. Бабаев в книге «Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ» [2] рассмотрел более подробно и описал не только простые методы раскроя, но и раскрой листового материала на различные заготовки сложной формы, который основан на фигурном раскрое. Так же данный научный деятель рекомендует соблюдать соотношение длины материала и длины деталей, как и ширину. Следует учесть, что детали нужно укладывать ближе к кромке материала, а также учитывать направление материала и припуск. Бабаев привел формулу оптимального раскроя материала, что представлено в формуле 1.

$$K_p = \frac{s_1 n_1 + s_2 n_2 + \dots + s_m n_m}{S} \cdot 100, \quad (1)$$

где s_i – площадь i -й заготовки, мм²;

n_i – число i -х заготовок, вырезаемых из одного листа, шт;

S – общая площадь листа, м².

Примеры планов раскроя листового материала приведены на рисунке 2.

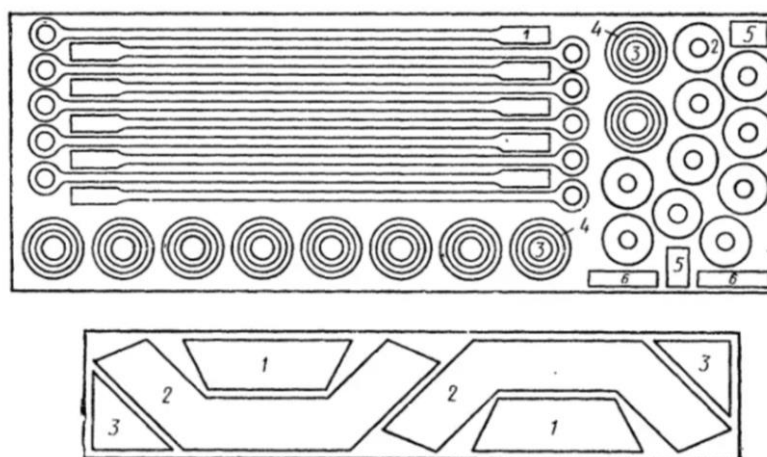


Рисунок 2 – Примеры планов раскроя листового материала

Исходя из рассмотренных видов раскладки, можно подключить традиционные методы для раскладки деталей, как ручные и полуавтоматизированные подходы, применяя метод раскроя листового материала на различные заготовки сложной формы:

- геометрические методы (использование математических формул);
- эвристические методы (применение правил и рекомендаций для достижения оптимальных решений)
- методы линейного программирования (оптимизация раскладки с использованием математических моделей).

Однако данные методы часто имеют ограничения в плане гибкости и скорости раскладки деталей, особенно при работе с большими объемами данных и сложными формами деталей.

Существует такой вид раскладки деталей – NFP с отрисовкой полигона, не выходящая за пределы листа [3], но для более оптимальной раскладки деталей данный метод использовать не рационально, так как для большого количества деталей будет уходить много времени на перерисовку полигонов.

В ходе исследования можно сказать, что для оптимального раскроя листового материала лучше всего использовать метод раскладки, основанный на одном из видов фигурной раскладки – раскладка сложных различных деталей. Этот метод демонстрирует превосходство над традиционными способами по нескольким ключевым параметрам: максимальное использование материала; гибкость; автоматизация процесса.

Таким образом, внедрение Nesting-раскладки является стратегическим решением для оптимальной раскладки в пользу большего остатка материала, сокращение затрат и увеличение общей производительности предприятия.

Список литературы

1. Вдовин, С.И. Оптимизация раскроя материалов в машиностроении: учебное пособие. / С.И. Вдовин, О.Е. Джур. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016 – 45 с.
2. Бабаев, Ф. В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. / Ф.В. Бабаев// Москва: «Машиностроение» – 1982. – 168 с.
3. Эффективный алгоритм размещения деталей на листовом материале [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://swsys.ru/index.php?page=article&id=362> (дата обращения 8.09.2025).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРТ РАСКРОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Московцева О.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: внедрение методов искусственного интеллекта в системы автоматизированного проектирования (САПР) для раскроя материала позволит значительно повысить эффективность проектирования, оптимизацию раскроя и сокращение времени на внесение изменений, а также улучшит точность и надежность создаваемых проектов. Так, будут использованы алгоритмы машинного обучения, анализируя и применяя новые варианты и методы раскладки на основе реальных данных, так же можно говорить об оптимизации, которая необходима в САПР.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генетический алгоритм, нейронная сеть, раскладка деталей, проектирование карт раскроя, целевая функция.

Для оптимизации автоматизации раскроя деталей на материале, появилось понятие искусственного интеллекта. Применение искусственного интеллекта необходимо для автоматической подборки раскладки деталей с наименьшими остатками материала.

Искусственный интеллект – это технологическая модель, которая представляет собой несколько нейросетей. Стоит отметить, что нейросеть – это модель, состоящая из математических рассуждений, которая помогает машинному обучению для того, чтобы искусственный интеллект больше походил на действия человека. Существует искусственный интеллект ограниченный и генеративный [1].

Искусственный интеллект имеет несколько основных видов:

- генетические алгоритмы (ГА) (метод оптимизации с принципами естественного отбора данных);
- нейронные сети, обученные на множественных данных о раскладке деталей;
- метод ветвей и границ относящиеся к алгоритмам машинного обучения [2].

Раскладка деталей – это процесс размещения компонентов на листовой материал, такой как лист металла, плита, ткань и так далее, с целью минимизации отходов и оптимизации использования данного материала. Соответственно, ис-

ходя из данного определения, если использовать несколько подходов искусственного интеллекта, такие как ГА и нейронные сети, можно прийти к более эффективным решениям. Смешанные виды позволяют снизить скорость обработки больших запросов, увеличить точность раскладки деталей, а также позволит сократить отходы листового материала.

Проектирование карт раскроя с использованием искусственного интеллекта – это автоматизированный процесс, при котором алгоритмы искусственного интеллекта анализируют данные детали и как их можно расположить по известным методам. Выбирается более оптимальный метод раскладки деталей и предлагается вариант, с наиболее меньшим объемом отходов.

Для обучения или использования искусственного интеллекта, необходимо составить целевую функцию, для распределения весов в нейронной сети. Целевая функция для системы автоматизированного проектирования (САПР) карт раскроя с использованием искусственного интеллекта может включать несколько ключевых аспектов, стремясь оптимизировать процесс проектирования и реализации.

Исходные параметры:

- площадь заданного листа;
- минимальная занимаемая площадь листа;
- количество деталей;
- количество оптимальных решений перераскладки деталей.

При формулировании целевой функции, применяя все вышеупомянутые параметры, можно вывести следующую формулировки функции:

$$F(x) = \min (\sum_{i=1}^m x_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^n y_j \cdot S_j), \quad (1)$$

где x_i – логическая переменная оптимального решения, если используется лист i -го типа, то переменная равна 1, иначе 0;

A_i – площадь листа заданного материала;

y_j – переменная используемых экземпляров детали j -го типа;

S_j – площадь деталей.

Данная целевая функция обеспечивает минимизацию отходов и максимизацию использования исходного материала, с возможностью перераскладки деталей.

Данная функция имеет следующую формулировку:

Пусть существует некоторый набор деталей, каждая из которых характеризуется площадью S_j , где $j = 1, 2, \dots, n$. Тогда можно узнать общую площадь

представленных деталей $\sum_{j=1}^n S_j$. Соответственно также известно количество листов материала с площадью A_i , где $i = 1, 2, \dots, m$, тогда общая доступная площадь листового материала будет соответствовать $\sum_{i=1}^m A_i$.

Проведя анализ, можно сказать, что САПР карт раскроя с использованием искусственного интеллекта необходимо развивать, так как оптимизация процессов раскроя материалов используется в разнообразных отраслях. Так научные исследования в данной области с использованием искусственного интеллекта включает в себя несколько направлений:

- исследования оптимизации процессов раскроя, то есть разработка алгоритмов, которые минимизируют отходы и максимизируют использование материала;
- использование методов машинного обучения и анализа данных, где программа предугадывает разный исход событий с несколькими вариантами раскроя материала;
- разработка интерфейсов с интеграцией искусственного интеллекта в уже существующие САПР.

Также остаются открытые вопросы и проблемы в данной области такие как:

- нехватка качественных и разнообразных данных для успешной обработки;
- при использовании искусственного интеллекта поднимается вопрос ответственности и этики для дальнейшего обучения;
- автоматизированная перерастановка не до конца работает в той мере, в которой максимально хотелось бы уменьшить отходного материала.

Список литературы

- 1 Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие/ Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 2018.- 121с.
- 2 Полное руководство по оптимизации раскроя материала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radiotochki.net/blog/ai/kak-ii-ekonomit-milliony-polnoe-rukovodstvo-po-optimizacii-raskroya-materialov.html> (дата обращения - 09.09.2025)

ПРИЛОЖЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА И ИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ

Ондрина В. П., Каркаба П. Х., Петрова Е. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: данная работа посвящена разработке специализированной информационной системы автоматизации учёта комплектующих БПЛА и обеспечению оперативного доступа к важной информации, включая гарантийные сроки и документацию.

Ключевые слова: БПЛА, автоматизация, база данных, программное обеспечение, комплектующие, приложение.

В условиях быстрого развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолетного типа возникает острая необходимость в автоматизации учёта и их комплектующих. Ручной учет ведет к ошибкам, потере данных и снижению эффективности управления.

Приложение создано для автоматического учёта беспилотных летательных аппаратов самолётного типа и их составных частей. В приложении определяются следующие данные об устройстве: уникальный идентификатор, наименование, серийный номер, гарантийный срок, ссылка на ЕСКД и сборочный чертёж. Каждое устройство состоит из нескольких комплектующих, в которых зафиксирован уникальный идентификатор, наименование и гарантийный срок. Комплектующие классифицируются по типам, которые соответствуют деталям.

Связи между сущностями реализованы так, что одно устройство может содержать множество деталей, причем эта деталь относится только к одному устройству. Аналогично, каждый тип комплектующей комплектуется множеством деталей, метод из которых относится к единственному типу. Это обеспечивает структурированное и логичное представление данных для удобства поиска и анализа.

Возможности приложения:

1. ведение справочника БПЛА, с функциями добавления, редактирования и удаления записей. Каждое устройство снабжается соответствующим идентификатором, наименованием, серийным номером, а также ссылками на ЕСКД;
2. классификация компонентов по типам, создание справочника типов комплектующих для оптимизации поиска;
3. работа с технической документацией, включая добавление и предоставление ссылок на конструкторскую документацию и чертежи;
4. формирование отчётов с помощью удобных инструментов быстрого поиска и фильтрации данных по различным критериям;

5. обеспечение контроля данных, контроль дублирования за счёт уникальных идентификаторов и гарантия актуальности информации;
6. удобный пользовательский интерфейс с функциями навигации по справочникам и доступа к подробной информации о каждом устройстве.

На рисунке 1 представлена инфологическая модель выбранной предметной области.



Рисунок 1 – Инфологическая модель предметной области

На рисунке 2 представлена даталогическая модель выбранной предметной области.

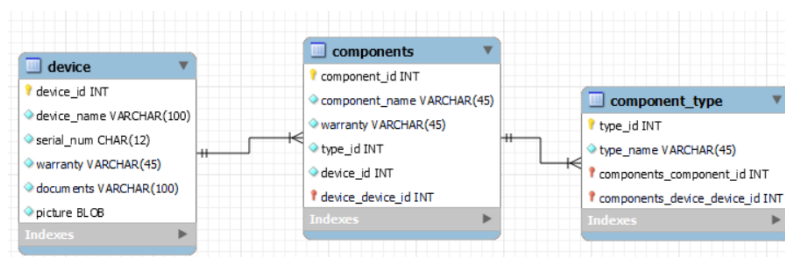


Рисунок 2 – Даталогическая модель предметной области

Для запуска программы необходимо запустить файл проекта «БПЛА» типа «.exe», после чего запустить приложение. Окно приложения представлено на рисунке 3.

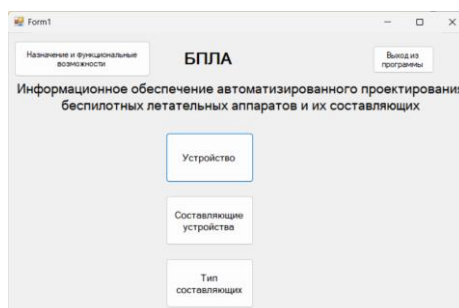
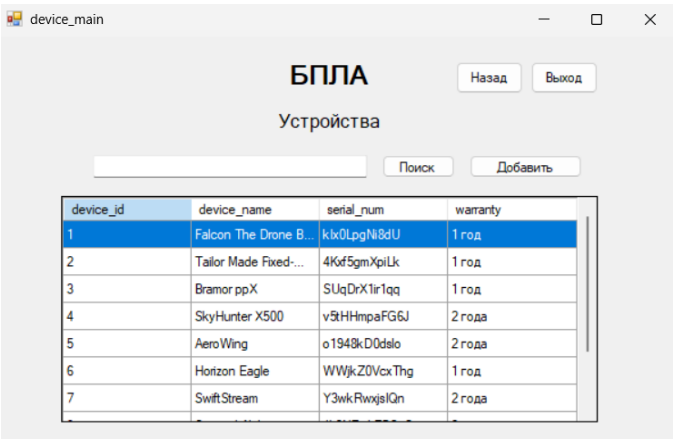


Рисунок 3 – Главное окно приложения

При работе с информационной системой учета БПЛА пользователь начинает с таблицы «Устройства». Окно просмотра данных предлагает пользователю возможности поиска записей по любому столбцу (с учетом полных совпадений),

детального просмотра конкретных элементов, добавления новых данных и возврата в главное меню системы. На рисунке 4 представлен список всех зарегистрированных БПЛА самолетного типа.

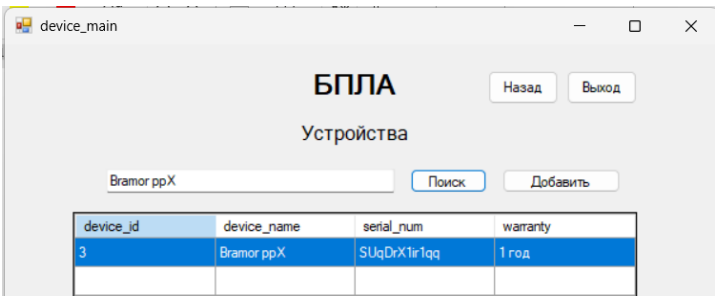


The screenshot shows a window titled 'device_main' with a header 'БПЛА' and a subtitle 'Устройства'. There are buttons for 'Назад' and 'Выход'. Below the header is a search bar with a 'Поиск' button and a 'Добавить' button. A table lists 7 drones with columns: device_id, device_name, serial_num, and warranty.

device_id	device_name	serial_num	warranty
1	Falcon The Drone B...	k1x0LpgN8dU	1 год
2	Tailor Made Fixed-...	4Kxf5gmXpiLk	1 год
3	Bramor ppX	SUqDrX1ir1qq	1 год
4	SkyHunter X500	v9tHHmpaFG6J	2 года
5	AeroWing	o1948kD0dslo	2 года
6	Horizon Eagle	WWjkZ0VcxThg	1 год
7	SwiftStream	Y3wkRwxj1Qn	2 года

Рисунок 4 – Главное окно таблицы «Устройства»

Пример поиска данных представлен на рисунке 5.

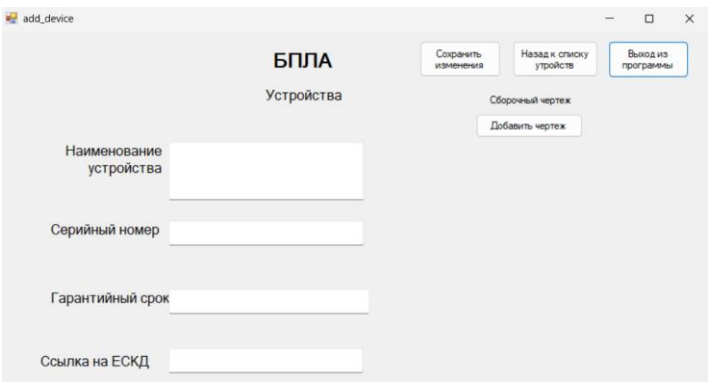


The screenshot shows the same window as Figure 4, but with 'Bramor ppX' entered in the search bar. The 'Поиск' button is highlighted, and the table now only displays the entry for 'Bramor ppX' (device_id 3).

device_id	device_name	serial_num	warranty
3	Bramor ppX	SUqDrX1ir1qq	1 год

Рисунок 5 – Результаты поиска по таблице «Устройства»

Чтобы добавить новую запись в таблицу, достаточно нажать на кнопку справа от поля «Поиск», что представлено на рисунке 6.



The screenshot shows a window titled 'add_device' with a header 'БПЛА' and a subtitle 'Устройства'. There are buttons for 'Сохранить изменения', 'Назад к списку устройств', and 'Выход из программы'. Below the header is a section for 'Сборочный чертеж' with a 'Добавить чертеж' button. The main form has four input fields: 'Наименование устройства', 'Серийный номер', 'Гарантийный срок', and 'Ссылка на ЕСКД'.

Рисунок 6 – Окно добавления данных в таблицу

Чтобы внести в систему информацию о новом устройстве, пользователь заполняет форму добавления записи. При нажатии на кнопку загрузки открывается стандартное окно выбора файла, позволяющее выбрать изображение чертежа в формате JPG, JPEG или PNG. Завершив ввод всех данных, пользователь подтверждает добавление записи, нажав кнопку «Сохранить». Успешное сохранение подтверждается информационным сообщением «Данные успешно сохранены». Выбор чертежа для загрузки в базу данных представлен на рисунке 7.

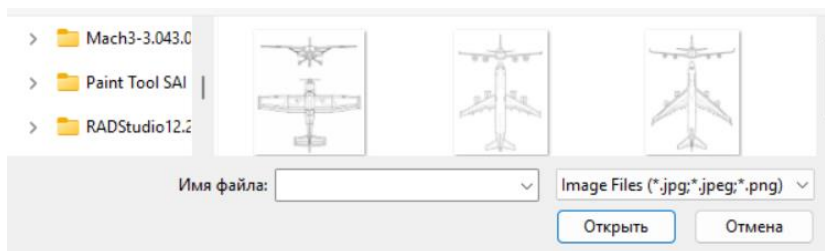


Рисунок 7 – Выбор чертежа для загрузки в базу данных

Окно подтверждения выхода с вопросом о сохранении изменений представлено на рисунке 8.

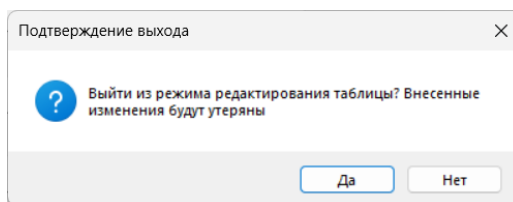


Рисунок 8 – Окно подтверждения выхода из окна добавления записи

На рисунке 9 представлено окно записи из базы данных.

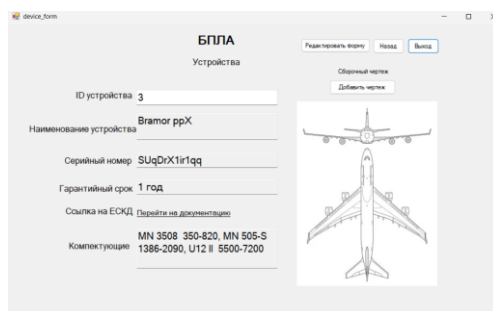


Рисунок 9 – Окно записи из базы данных

Система разработана с учетом возможности возникновения ошибок, о которых пользователь будет своевременно оповещен, как показано на рисунке 10.

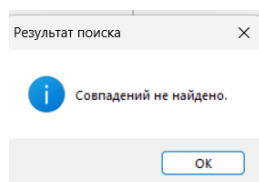


Рисунок 10 – Обработка ошибок

Система контролирует длину вводимых данных. Если пользователь попытается ввести в поле больше символов, чем допустимо, появится сообщение об ошибке при сохранении или изменении записи, как показано на рисунке 11.

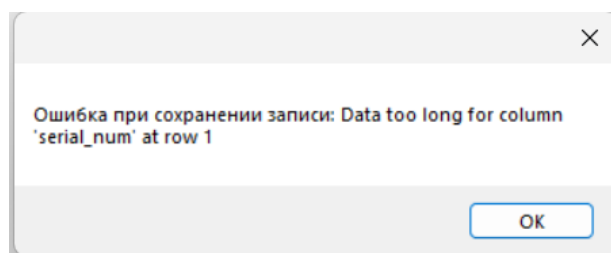


Рисунок 11 – Ошибка при сохранении данных.

В результате работы была разработана информационная система для автоматизации учёта БПЛА и их комплектующих. Она стандартизирует данные, минимизирует ошибки и обеспечивает быстрый доступ к технической документации и учёту гарантийных сроков. Также система формирует отчёты для анализа и упрощает управление благодаря классификации компонентов. В процессе работы был проведён анализ предметной области, в ходе которого были идентифицированы ключевые объекты, такие как устройство и комплектующая, определены их атрибуты и установлены связи между ними.

В перспективе, оптимизация базы данных, усиление безопасности и предоставление API для интеграции с другими системами откроют возможности для масштабируемости, стабильности и эффективного управления всем парком БПЛА.

Список литературы

1. Мюллер, Джон Пол. M98 С# для чайников.: Пер. с англ. / Джон Пол Мюллер, Билл Семпф, Сфер Чак. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 608 с. – Парал. тит. англ.11. – ISBN 978-5-907144-43-9.
2. Никулин, Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с. – ISBN 5-94157-264-6.
3. Порев, В.Н. Компьютерная графика / В.Н.Порев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432 с. – ISBN 5-94157-139-9.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ЗАДАНЫМ ПАРАМЕТРАМ ИЗГОТОВЛЯЕМОЙ ДЕТАЛИ

Петрова Е.А., Каркаба П.Х., Ондрина В.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Аннотация: разработан прототип информационной системы для автоматизации подбора станков в машиностроении. Система обеспечивает хранение и структурирование данных, быстрый и точный выбор оборудования по технологическим параметрам, снижающий ошибки и оптимизирующий производственные ресурсы, что повышает общую эффективность и конкурентоспособность предприятия.

Ключевые слова: оптимизация выбора, база данных, подбор оборудования, информационная система

В условиях сложного выбора оборудования для обработки деталей из-за большого разнообразия станков и технологий актуальной задачей является создание информационной системы. Она позволит автоматизировать подбор станков, минимизировать ошибки и оптимизировать использование ресурсов.

Современное машиностроение характеризуется широким разнообразием обрабатываемых деталей и парком оборудования. В данной статье рассматривается разработка программного обеспечения, призванного автоматизировать процесс выбора станка. Система на основе структурированной базы данных технологических возможностей станков позволяет эффективно подбирать оборудование, минимизируя временные затраты и риски принятия неверных решений.

Возможности приложения:

- подбор станков;
- хранение справочной информации;
- формирование отчетов.

На рисунке 1 представлена даталогическая модель выбранной предметной области.

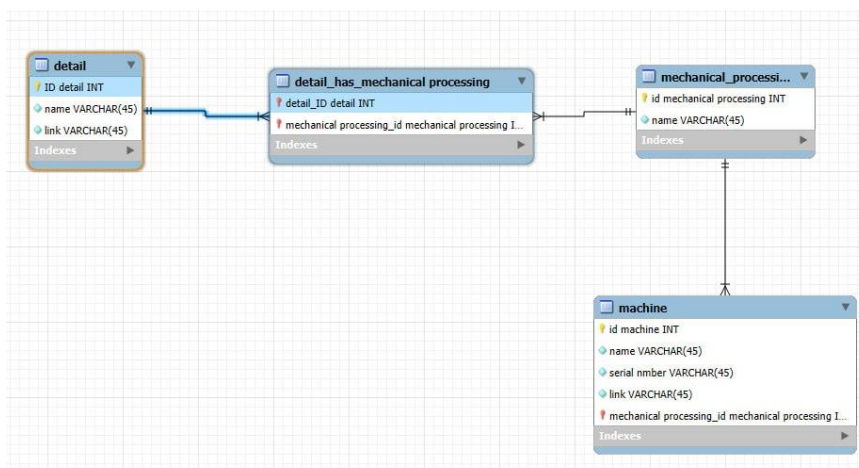


Рисунок 1 – Даталогическая модель предметной области

Для запуска программы необходимо запустить файл проекта «IDZ.exe», после чего запустить приложение. Окно приложения представлено на рисунке 2.

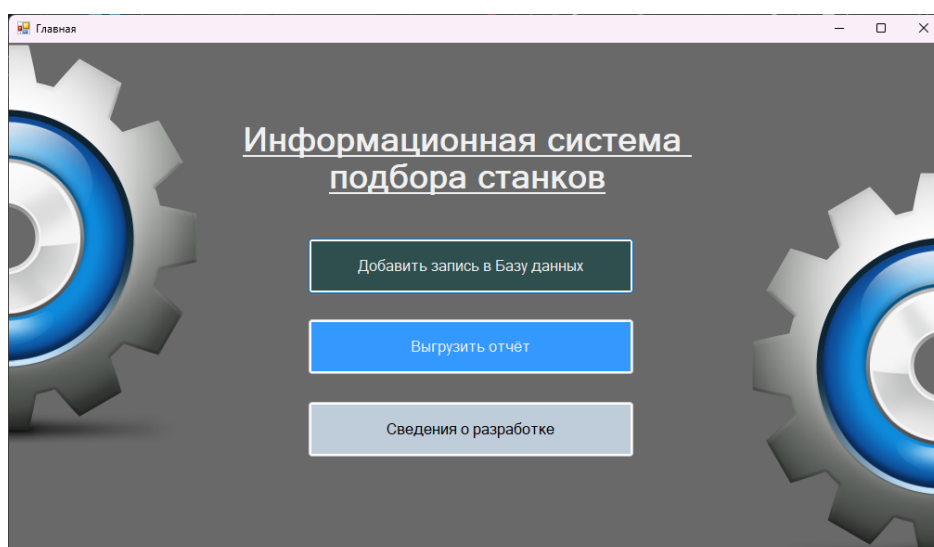


Рисунок 2 – Главное окно приложения

Здесь можно выбрать следующие пункты – добавление записи в таблицы, выгрузка отчёта и сведений о разработчике.

При нажатии на кнопку «Добавить запись в Базу данных» пользователю предоставится возможность выбрать добавление детали или станка.

При выборе опции «Добавить деталь» открывается соответствующее окно, где пользователь должен ввести название детали и ссылку на единую конструкторскую документацию (ЕСКД). Пример ввода данных представлен на рисунке 3. Для продолжения добавления данных в БД необходимо нажать кнопку «Дальше», после чего откроется окно продолжения, где нужно будет выбрать тип обработки. После двойного клика по типу обработки программа спросит пользователя о необходимости добавления еще одного типа обработки как показано на

рисунке 4. В случае выбора пользователем ДА, всплывающее окно закроется, и пользователь сможет выбрать дополнительные типы обработки добавляемой детали. При нажатии НЕТ программа сохранит введенные данные и выдаст соответствующее сообщение об этом как показано на рисунке 5.

Добавление детали

Введите информацию о детали

Введите название детали

Введите ссылку на ЕСКД

Рисунок 3 – Процесс добавления детали в БД

Добавление детали

Введите информацию о детали

Выберите возможные способы обработки детали

id_mechanical_processing	name
1	Токарная обработка
2	Экспрессинг (Боссовая обработка)
3	Фрезерование

Добавление обработки

Хотите добавить еще 1 тип обработки?

Рисунок 4 – Продолжение ввода данных в БД

Успех

Данные успешно сохранены!

Рисунок 5 – Успешное сохранение данных в БД

Помимо детали в БД можно ее добавить станок. Здесь необходимо ввести производителя, название станка, его серийный номер, ссылку на ЕСКД и выбрать

тип обработки. Пример добавления станка в БД представлен на рисунке 6. По завершении ввода данных необходимо нажать кнопку «Сохранить».

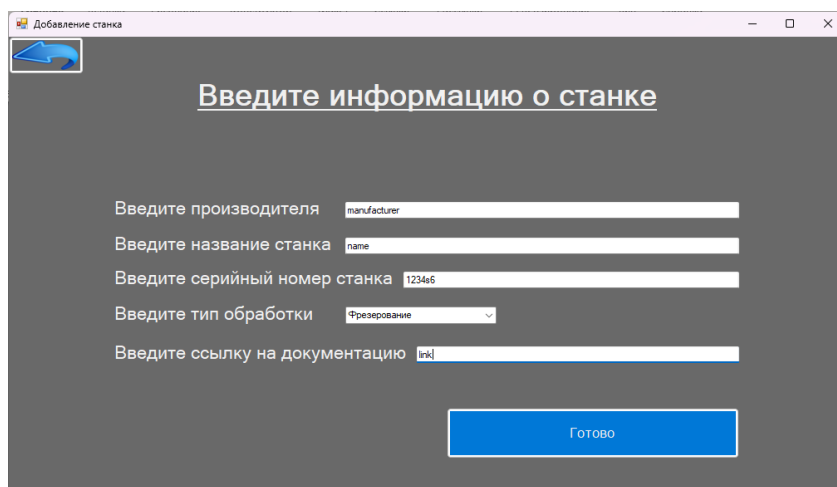


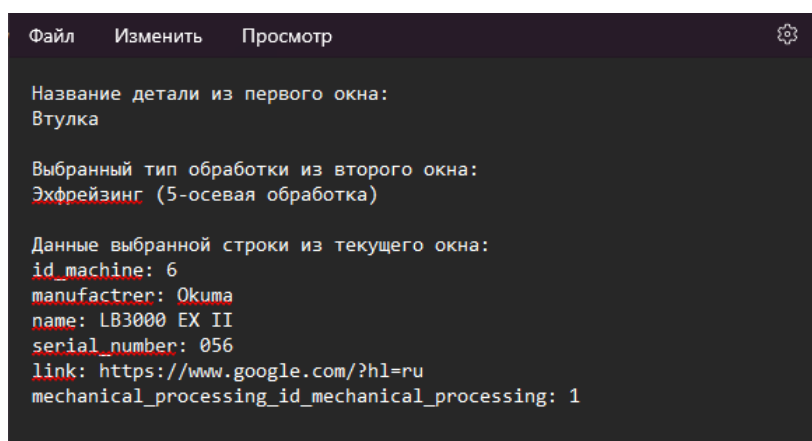
Рисунок 6 – Добавление станка в БД

Выгрузка отчета проводится в несколько этапов. Переход от одного окна к другому осуществляется двойным кликом по нужной строке.

На 1 этапе происходит выбор детали. Далее необходимо выбрать тип механической обработки. После нужно выбрать станок, которым будет производиться обработка детали.

После выбора пользователем станка, программа запросит подтверждение.

При нажатии «Да» программа открывает диалоговое окно, где пользователь может выбрать путь сохранения отчета, который сохранится в формате .txt. Пример выгруженного отчета представлен на рисунке 7.



```
Файл  Изменить  Просмотр

Название детали из первого окна:
Втулка

Выбранный тип обработки из второго окна:
Эхфрейзинг (5-осевая обработка)

Данные выбранной строки из текущего окна:
id_machine: 6
manufacturer: Okuma
name: LB3000 EX II
serial_number: 056
link: https://www.google.com/?hl=ru
mechanical_processing_id_mechanical_processing: 1
```

Рисунок 7 - Готовый отчет

Был разработан прототип информационной системы для автоматизации подбора станков. Он включает в себя базу данных с характеристиками оборудования, базу данных изготавливаемых деталей, и систему выбора оборудования, что

позволяет сократить время выбора, минимизировать ошибки и оптимизировать использование производственных ресурсов, повышая конкурентоспособность предприятия.

Список литературы

1 Мюллер, Джон Пол. М98 С# для чайников.: Пер. с англ. / Джон Пол Мюллер, Билл Семпф, Сфер Чак. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 608 с. – Парал. тит. англ.11. – ISBN 978-5-907144-43-9.

2 Никулин, Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с. – ISBN 5-94157-264-6.

3 Порев, В.Н. Компьютерная графика / В.Н.Порев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432 с. – ISBN 5-94157-139-9.

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРА-МЕХАНИКА В ОГУ

Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор,

Никитина И.П., канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе представлено сообщение об опыте подготовки бакалавров в Оренбургском государственном университете на кафедре технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. Отмечается высокая востребованности выпускников кафедры, определяемая высоким качеством их подготовки, что обеспечивается образовательными программами, в которых сочетаются классические дисциплины, изучаемые при подготовке инженер-механиков, и дисциплины, основанные на цифровых технологиях.

Ключевые слова: инженер-механик, цифровые технологии

Кафедра технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов по праву стоит у истоков основания нашего вуза. Первый и единственный директор нашего вуза (далее руководителем вуза уже был ректор) Юдковский Павел Александрович был первым заведующим кафедрой, которая также выпускала специалистов технологов машиностроения. Потенциал кафедры позволил создать несколько новых специальностей и дать жизнь новым кафедрам университета. Так третий заведующий кафедрой профессор Ильичёв Л.Л. разработал образовательную программу, связанную с технологией повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов и передал её на кафедру МТМ Аэрокосмического института, что позволило кафедре МТМ получить новый статус – она стала выпускающей.

Материально-техническое обеспечение кафедры состояло из десятков металлообрабатывающих станков практически всех типов, в том числе станков с ЧПУ второго поколения. Для развития вуза было принято решения создать отдельную кафедру метрологии, передав метрологическое оборудование нашей кафедры и несколько ставок вместе с ведущими доцентами на другой факультет. В настоящее время эту кафедру возглавляет выпускник нашей кафедры.

Хороший инженер-механик 50-х годов это сочетание профессионального чертёжника, расчетчика, материаловеда, конструктора и технолога. Основными помощниками инженера-механика 50-х годов, которые позволяли обеспечить выполнение своих профессиональных функций являлись: русские счёты, арифмометры, логарифмические линейки, таблицы Брадиса, математические и физические справочники. Типовой современный инженер, особенно с образованием

бакалавра, с инженерными аксессуарами 50-х скорей всего в заочном споре с типовым инженером 50-х окажется в весьма затруднительном положении. Однако производительность и точность решения типовых инженерных задач современным инженером в условиях современного технического оснащения неизмеримо выше.

Кто такой современный инженер -механик, а точнее бакалавр-механик чем он владеет, что умеет, как учиться? Сегодня, начиная с 2011 года, место инженера-механика в университете заменил бакалавр. Да теоретические возможности современного бакалавра существенно упали. Это связано с тремя факторами.

Первый фактор – это аудиторные занятия. В современном учебном плане основное время отводится самостоятельному обучению. По основным техническим дисциплинам аудиторные занятия составляют чуть более 30 % от общего времени, отводимому на изучение дисциплины. Например, такие важнейшие для механика дисциплины как: «Материаловедение», «Резание материалов» в вместе с преподавателем изучается лишь 34 % от общего времени. «Соппротивление материалов» - 31 %; «Нормирование точности», «Детали машин» – 27 %; «Начертательная геометрия», «Теория механизмов и машин» – 24 %. И этот список не заканчивается. А если дисциплина использует специальное программное обеспечение, которое доступно только в университете, то общее время де-факто сводится к аудиторному.

Второй фактор – снижение заинтересованности экономики страны к инженерным кадрам на фоне ещё достаточно большого количества инженерных кадров, подготовленных ещё в первые десятилетия новейшей России. Последние пять лет особый интерес стали проявлять лишь к конструкторам, которых во все времена было не много. Современное инженерное образование – это очень дорогое образование, требующее регулярные инвестиции в материально-техническое оснащение образовательных программ, так как современный инженер должен не просто владеть современными технологиями, но и иметь возможность создавать новые. По самым скромным оценкам объем инвестиций в материально-техническое оснащение небольшого учебного подразделения, осуществляющего подготовку специалистов по одной образовательной программе должно составлять не менее 100 млн. руб за один образовательный цикл. Безусловно есть варианты создания научно-технических центров при вузе, которые бы обслуживали интересы нескольких кафедр, но тем не менее эта экономия не является линейной.

Третий фактор – оплата труда работников вуза – не просто низкая, а недопустимо низкая, когда специалист высшей категории имеет оплату труда, сопоставимую с работой уборщика помещений в негосударственных структурах. Сегодня производственные предприятия – это сильный конкурент для вуза, как для

работодателя. Этим объясняется не просто слабый приток молодёжи в вузы, а отток молодых преподавателей на конкурирующие по отрасли предприятия.

Таким образом, сегодняшний типичный студент-механик не имеет теоретической подготовки, характерной для выпускника 50-х годов. Но какие-то компетенции современного выпускника-механика по-прежнему интересуют работодателя, и он, практически, борется за каждого, проезжая тысячи километров в поисках подходящих кадров. Сегодня даже московский регион, в котором сотни технических вузов, колледжей, техникумов проявляет интерес к нашим выпускникам, зная наперёд, что он получит в лице выпускника Оренбургского государственного университета.

Сегодня наш выпускник-механик кроме традиционных дисциплин, которые никак нельзя назвать архаичными для будущего инженера (всё-равно, что для врача «Анатомию» назвать архаичной дисциплиной, ведь первые научные труды появились ещё в XVI веке) изучает дисциплины, напрямую связанные с цифровыми технологиями [1] (тридцать лет назад их называли информационными).

Какие же дисциплины изучает наш будущий механик. На ранних курсах подготовки он начинает осваивать программное обеспечение автоматизированного проектирования, когда он изучает и получает практические навыки в овладении тремя различными системами автоматизированного проектирования: Компас-3D, AutoCad, SolidWorks. На третьем и четвертом курсах образовательная программа предусматривает выполнение восьми курсовых работ и проектов, в рамках которых обучающийся имеет возможность выбора специализации в любой из вышеназванных систем проектирования. Также на третьем курсе параллельно с выполнением одного из курсовых проектов по металлорежущим станкам обучающиеся получают навыки работы еще с одной системой автоматизированного проектирования – это Autodesk Inventor. Основной акцент при изучении данной системы делается на её специализированные расчётные модули механики: расчёты зубчатых колёс, валов, подшипников, шпоночных и шлицевых соединений, ремённых передач. Также обучающиеся при выполнении курсовых проектов, предусмотренных учебным планом, получают первое знакомство с системой Matlab – это современный инструмент автоматизированных вычислений, сочетающий возможности объектно-ориентированного языка программирования высокого уровня и интерактивную среду, возможности которой позволяют интегрироваться с различными системами обработки данных и специализированными программами, такие как Ansys. Ansys – известная CAE-система, мировой лидер в области конечно-элементного моделирования физических процессов, включая механические, тепловые и другие, протекающие в технических объектах машиностроительного назначения. Ansys используется обучающимися для

углубленного инженерного анализа своих разработанных конструкций при выполнении некоторых дисциплин образовательной программы и выпускной квалификационной работы.

Говоря о цифровых технологиях современного обучающегося ОГУ нельзя не упомянуть САМ-системы – системы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. На первой ступени обучения – подготовка бакалавров, обучающиеся изучают СПРУТ-САМ – отечественную систему, легко справляющаяся даже с непрерывной пятиосевой обработкой. Магистранты изучают Siemens NX.

Таким образом, обучающиеся нашей кафедры в той или иной степени получают навыки с пятью профессиональными системами проектирования, тремя системами компьютерного моделирования и некоторыми другими системами, глубина изучение которых в образовательной программе не столь велика. Симбиоз классических технических дисциплин и дисциплин, широко использующих цифровые технологии, создаёт синергетический эффект при подготовке бакалавра-механика в нашем университете. Именно этот фактор определяет высокую востребованность выпускников кафедры. А вот на следующем этапе становления инженерно-технического работника от работодателя уже будет зависеть траектория развития молодого специалиста: как долго проработает он на своем первом месте работы или будет в постоянном поиске. Наша семидесятилетняя практика подготовки специалистов разного уровня показала, что есть в регионе предприятия, для которых инженерно-технические работники являются тоже золотым фондом.

Список литературы

1 Позевалкин, В.В. Реализация цифровой модели тепловых характеристик на основе температурного поля / В.В. Позевалкин, А.Н. Поляков // *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*. – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 178-189.

ЭЛЕКТРОННОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ТЕХПРОЦЕССОВ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

**Поляков Е.Ю., Кондусова В.Б., д-р техн. наук,
Русяев А.С., канд. техн. наук, Кондусов Д.В., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в статье приведён процесс поэтапного согласования технологических процессов с автоматической отметкой о согласовании в соответствии с нормативными документами. Указаны основные преимущества перехода на согласование технологических процессов в электронном виде.

Ключевые слова: согласование технологических процессов, система автоматизированного проектирования технологических процессов, электронное согласование, технологическая подготовка производства.

Важным этапом жизненного цикла изделий является технологическая подготовка производства (ТПП). Качество конечного продукта, сроки его выхода на рынок и конкурентоспособность предприятия в целом определяется уровнем автоматизации ТПП [1, 2].

В ТПП можно выделить 4 основные стадии [3]:

- 1) проработка технологической документации (ТД);
- 2) разработка межцеховых технологических маршрутов;
- 3) разработка операционных процессов;

4) отработка и запуск в производство технологического процесса (ТП) по которому и будет изготавливаться изделие. Запуск в производство ТП осуществляется непосредственно после согласования, нормоконтроля и утверждения.

Учитывая рост объёмов производства (у развивающихся организаций) и большого количества согласующих лиц (в крупных организациях) – электронное согласование ТД актуально и становится востребованнее с каждым днём.

Таким образом, электронное согласование техпроцессов можно считать неотъемлемой частью автоматизации ТПП.

На основании анализа нормативной документации скомпонован и обобщён алгоритм (представленный на рисунке 1) согласования техпроцессов с момента подписания документов технологом-разработчиком до момента сдачи в архив.

Согласно ГОСТ 3.1129-93 «Общие правила записи технологической информации в ТД на ТП и операции», ГОСТ 3.1105-2011 «Формы и правила оформ-

ления документов общего назначения» и т.д. обязательными являются 4 подписи: в картах на техпроцесс визируют – разработчик ТП; лицо, проверяющее комплект документов; нормоконтролер; на титульном листе в поле «Утверждаю» визирует документ главный инженер, главный специалист или их заместители. Остальные этапы регламентируются стандартами организации.

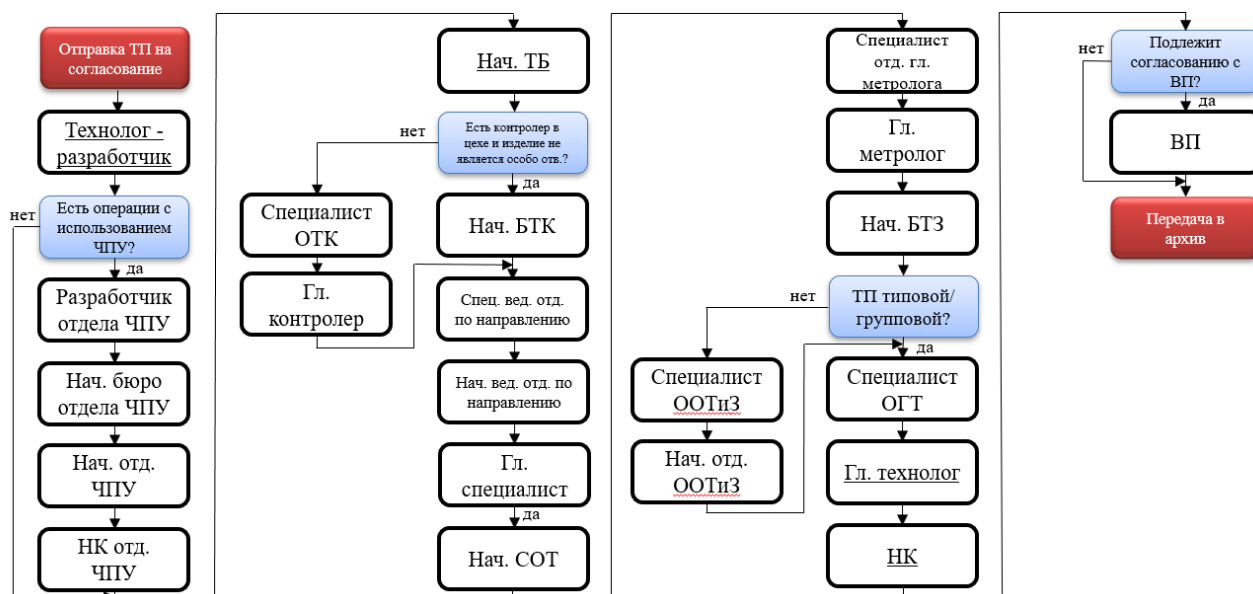


Рисунок 1 – Алгоритм согласования технологических процессов

Для автозаполнения должностей, фамилии и инициалов подписанта, даты визирования и подписи согласующего корректируются блоки в бланках документов (пример на рисунке 2), включая бланки, связанные со спецификой организации. Изменения вносятся в соответствии с предписаниями вышеупомянутых ГОСТ и ГОСТ 3.1103-2011 «Основные надписи. Общие положения».

На основании унифицированной схемы согласования ТП разработана таблица «Этапы согласования документов ТП» (таблица 1), где описаны этапы согласования документации по всем типам ТП с указанием документов, блоков и граф для проставления подписи лица, ответственного за выполнение этапа.

Учитывая, что согласование производится в электронном виде, то во время подписания ТП – он будет закрыт для внесения изменений, что никак не отразится на проверке техпроцесса нормоконтролем (ввиду исключения внесения изменений после завершения того или иного этапа).

Рисунок 2 – Корректировка бланков документов техпроцессов

		1		2		5		6		9		10		11	
		Механообработка		Сборка		Литьё		Пайка		Сварка		Термообработка		ТПП (ТП)	
		Документ	Графа	Документ	Графа	Документ	Графа	Документ	Графа	Документ	Графа	Документ	Графа	Документ	Графа
1	Технолог - разработчик	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 2 Блок Б2
		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК			
		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) МК/КК			
		4) КЭ		4) ВО		4) КК		4) ВО		4) КК		4) ВО			
		5) МК/КТП		5) ВМ		5) ВО		5) ВМ		5) ВО		4) ОК			
		6) МК/КТПП		6) ВОп		7) ВОп		6) ВМ		7) ВОп		5) ВО			
				7) ВТД		8) ВТД		7) ВТД		8) ВТД		6) ВТД			
				8) МК/КК			9) ВОТК							7) КС	
2	Нач. ТБ	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2	1) МК/КТБ	Графа 6 Блок Б2
		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК		2) МК			
		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) ОК		3) МК/КК			
		4) КЭ		4) ВО		4) КК		4) ВО		4) КК		4) ВО			
		5) МК/КТП		5) ВМ		5) ВО		5) ВМ		5) ВО		4) ОК			
		6) МК/КТПП		6) ВОп		7) ВОп		6) ВМ		7) ВОп		6) ВО			
				7) ВТД		8) ВТД		7) ВТД		8) ВТД		7) ВТД			
				8) МК/КК			9) ВОТК						8) КС		

На рисунке 3 (слева) представлен перечень должностей по характеру выполняемых работ. Порядок установлен в соответствии с таблицей 1. Адресаты

отображаются списком (по характеру работ) в зависимости от подразделения исполнителя.

После определения этапов выполняется подбор пользователей системы в соответствии с характером выполняемых работ (рисунок 3 справа). На текущем этапе выполнения программы сохранена возможность замены адресата. Адресатов по одному характеру выполняемых работ может быть несколько – поэтому они отображаются в контекстном меню.

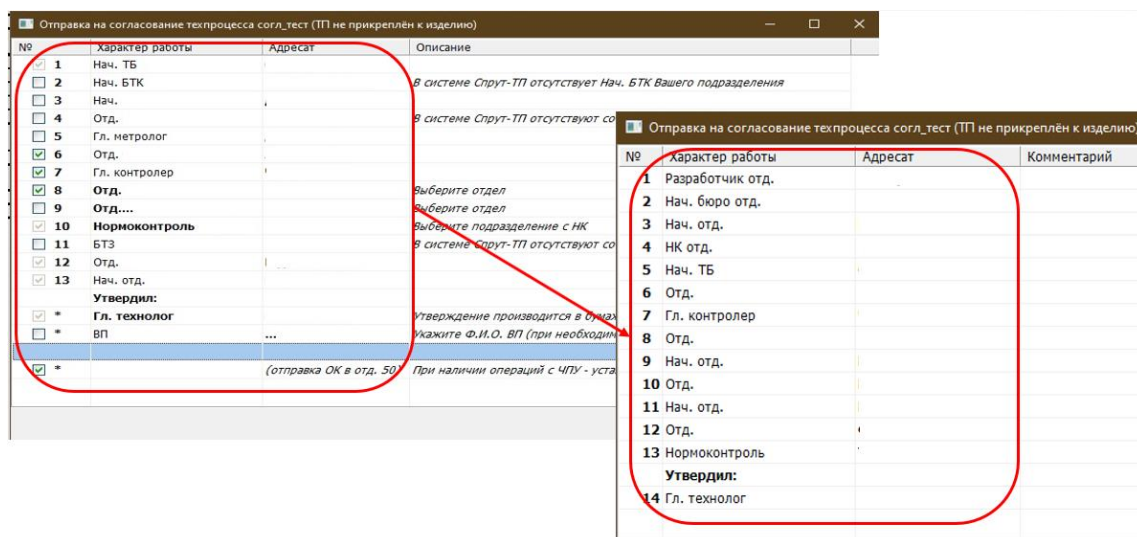


Рисунок 3 – Элементы экранных форм модуля «Согласование ТП»

Все этапы выполняются последовательно.

После отправки ТП на согласование, первому адресату приходит уведомление. На рисунке 4 (слева) отображено сообщение с перечнем бланков, пришедших на согласование. Ниже представлена форма ответа, после отправки – исполнителю отправится уведомление о результате согласования документов. На рисунке 4 (справа) подробная информация по этапам согласования текущего ТП с группировкой по основному документу техпроцесса – маршрутной карте.

Для реализации электронного согласования ТП выполнена работа в следующей последовательности:

- проанализировано свыше 30 нормативных документов – ЕСТД, ЕСКД, РД и стандарты организации, связанные с оформлением, согласованием и нормоконтролем ТД;

- проанализирован и обобщён процесс прохождения ТП с момента подписания технологом-разработчиком до сдачи в архив, учитывая специфику выполняемых работ, руководствуясь стандартами организации, согласно вышеупомянутым нормативным документам;

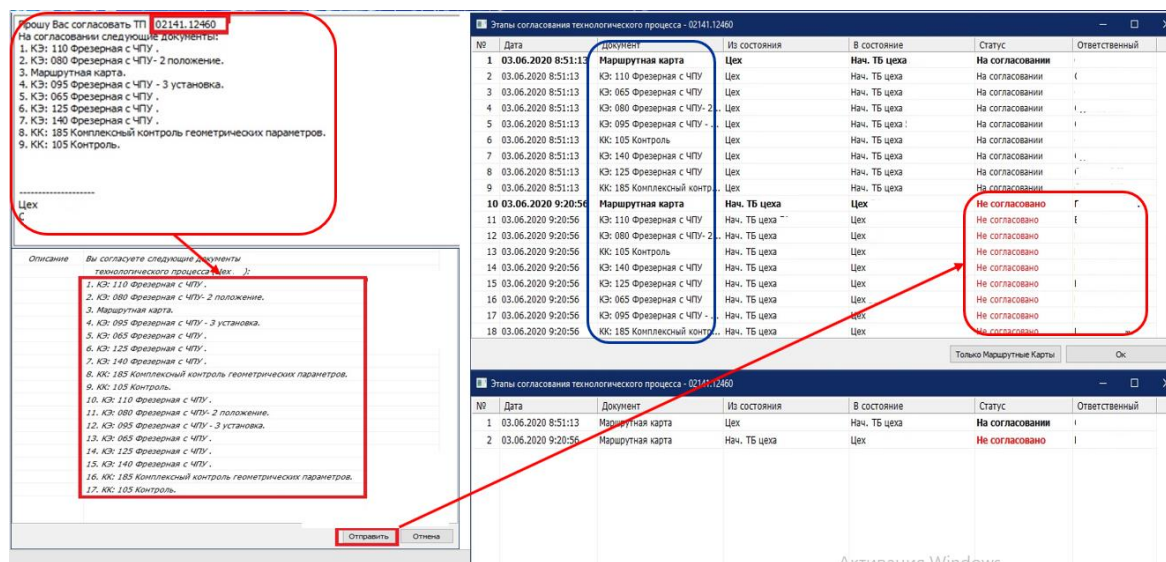


Рисунок 4 – Элементы экранных форм модуля «Этапы согласования»

– разработана таблица визирования (с указанием граф по бланкам) для документов на ТП по каждому этапу согласования в соответствии с ГОСТ 3.1103-2011, 3.1105-2011, 3.1129-93 и т.д., и стандартами организации;

– разработаны модули электронного согласования ТП в системе автоматизированного проектирования и нормирования технологических процессов.

Применение электронного согласования техпроцессов позволит реализовать контроль на каждом этапе согласования и сократить время технологической подготовки производства в части согласования, утверждения и нормоконтроля ТД.

Список литературы

1 Митрофанов, С. П. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев, Б. С. Падун. – Л. : Машиностроение, 1987. – 352 с.

2 Евгеньев, Г. Б. Методы и средства управления жизненным циклом изделий машиностроения / Г. Б. Евгеньев, Б. В. Кузьмин, В. И. Рубахина // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – №4. – С. 198-216.

3 Поляков, Е. Ю. Способ повышения эффективности автоматизированных систем технологической подготовки производства / Е. Ю. Поляков, Д. В. Кондусов, В. Б. Кондусова // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2023. – № 1(189). – С. 21-25.

4 Куликов, Д. Д. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства / Д. Д. Куликов, Б. С. Падун, Е. И. Яблочников // Приборостроение. – 2014. – №8. – С. 7-11.

МОДУЛЬ ТРАНЗАКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ БИБЛИОТЕК КОМПАС-3D ИЗ ВЕБ-КАТАЛОГА

Поляков К.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: представлен модуль, позволяющий из среды КОМПАС-3D устанавливать прикладные библиотеки из веб-каталога с проверкой манифеста и целостности файлов. Описаны архитектура (сервер каталога и плагин), формат манифеста, безопасная передача, этапы установки и автоматическая регистрация библиотеки.

Ключевые слова: КОМПАС-3D; прикладные библиотеки; веб-каталог; манифест; целостность; SHA-256; TLS; автоматическая регистрация; rtw; dll

В основе решения лежит разделение на серверную и клиентскую части. Серверная часть представляет собой веб-платформу с визуальным интерфейсом и базой данных, куда разработчики загружают свои библиотеки для КОМПАС-3D. Интерфейс веб платформы представлен на рисунке 1.

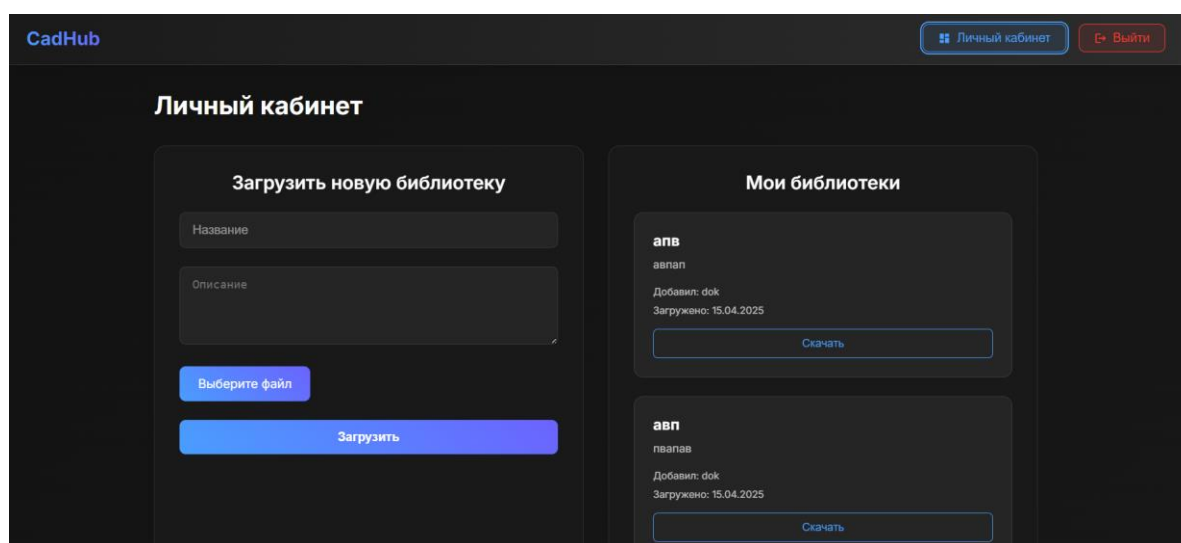


Рисунок 1 – Интерфейс веб-платформы

Под «библиотекой» понимается распространяемый бинарный модуль в формате .rtw или .dll, снабжённый манифестом. Для каждого релиза на стороне сервера фиксируются идентификатор и версия библиотеки, поддерживаемые версии КОМПАС-3D, краткое описание, контрольные суммы файлов, дата публикации, а также признак актуальности. Интерфейс предоставляет каталог с

фильтрами по версии САПР, типу и разработчику, а доступ к скачиванию осуществляется по защищённому протоколу [1].

Клиентская часть – плагин КОМПАС-3D – интегрируется в пользовательское меню и открывает диалог каталога. Пользователь аутентифицируется (либо анонимно просматривает открытый раздел), получает список доступных библиотек и запускает установку выбранной позиции. Взаимодействие с сервером осуществляется по HTTPS (TLS 1.2+), ответы представляются в компактном формате (JSON), а крупные бинарные объекты передаются потоково с возобновлением скачивания при сетевых сбоях. Плагин изолирует сетевые операции в рабочем фоне, чтобы не блокировать главный интерфейс САПР, и отображает прогресс, контрольные сообщения и итоги установки [2].

Ключевой элемент – манифест библиотеки. Его целесообразно хранить в формате JSON с чёткой схемой валидации. Минимальный состав полей: `id` (устойчивый идентификатор), `name` (человекочитаемое имя), `version` (семантическая версия), `vendor` (разработчик), `kompas_min/kompas_max` (совместимость по версиям САПР), `artifact` (список файлов для установки с типом, целевым путём и размером), `hash` (SHA-256 для каждого файла), `postInstall` (необязательные действия, например, регистрация или проверка наличия зависимостей), `signature` (при наличии – электронная подпись разработчика или организации). Схема манифеста проверяется на стороне сервера при публикации и повторно – на стороне плагина при установке, что исключает некорректные или неполные описания. Раздел `artifact` позволяет описывать как единственный бинарный файл (`.rtw` или `.dll`), так и комплект (например, плюс ресурсы/справка).

Безопасность и корректность обеспечиваются многоступенчато. Сетевой канал защищён TLS с проверкой цепочки сертификатов; сертификат сервера должен быть действителен и соответствовать имени хоста. После загрузки каждого файла плагин вычисляет его SHA-256 и сравнивает с хэшем, указанным в манифесте. Несовпадение хэш-суммы трактуется как повреждение или подмена и приводит к немедленному прерыванию установки с отчётливым сообщением пользователю. При наличии `signature` выполняется криптографическая проверка подписи в соответствии с внутривнегосекторным корнем доверия (например, сертификат организации-издателя), что позволяет гарантировать происхождение артефактов. Метка времени публикации и номер версии исключают даунгрейд без явного согласия пользователя [4].

Алгоритм установки выстроен как стадийная последовательность с отложенной активацией. На стадии «подготовка» плагин загружает манифест, проверяет совместимость версий (`kompas_min/kompas_max`) с установленной

версией КОМПАС-3D, а также доступность дискового пространства. На стадии «получение» файлы скачиваются во временный каталог профиля пользователя; для устойчивости поддерживается повторная попытка и возобновление. На стадии «валидация» выполняются проверки хэш-сумм и (при наличии) подписи. Только после успешной валидации выполняется стадия «размещение»: артефакты перемещаются из временного каталога в целевые пути, причём используется атомарная операция переименования (*move/rename*), чтобы исключить частично записанные файлы; при конфликтах имён применяется схема *side-by-side* с версионированным подкаталогом. На финальной стадии «активация» модуль автоматически регистрирует библиотеку в КОМПАС-3D вызовом команды «Добавить приложение» и, при поддержке API, подтверждает успешную инициализацию. Если какой-либо этап до «активации» завершается ошибкой, уже загруженные временные файлы очищаются; существующая рабочая конфигурация КОМПАС-3D при этом остаётся неизменной. Таким образом, пользователю не требуется вручную устранять последствия неудачных попыток, а видимое состояние системы меняется только после полного прохождения всех проверок [3].

Автоматическая регистрация – важная часть UX. В стандартном процессе пользователь заходил бы в менеджер приложений и вручную выбирал «Добавить приложение», указывая путь к *.rtw* или *.dll*. Плагин берёт эту рутину на себя: он знает целевой путь артефакта из манифеста, проверяет, что файл доступен и корректен, и программно иницирует эквивалент последовательности, которую пользователь делал бы через интерфейс. После регистрации пользователь видит элемент в списке установленных приложений, может включить/выключить его и ознакомиться с краткой карточкой (имя, версия, разработчик, краткое описание из манифеста). При первой активации библиотека может добавить команды, элементы меню, панели или контекстные действия – это поведение описывается самой библиотекой, а не модулем установки; задача модуля – корректно доставить и зарегистрировать.

С серверной стороны публикация выглядит как транзакция каталога: разработчик в веб-интерфейсе создаёт карточку релиза, заполняет поля манифеста (либо загружает готовый *manifest.json*), загружает бинарные файлы, после чего сервер проводит валидацию (размеры, хэши, схема манифеста), присваивает версию и делает запись доступной для клиентов. Для качества каталога можно внедрить статические проверки (например, что *version* монотонно возрастает в пределах *id*, что $kompas\_min \leq kompas\_max$, что запрещены относительные пути вне разрешённого префикса). При необходимости платформа поддерживает статусы «черновик/проверено/опубликовано», модерацию и отзыв релизов.

Дополнительно реализуются механизмы ограничения доступа (приватные каналы организаций), метки совместимости и каналы распространения (stable/beta).

Отказоустойчивость клиента достигается за счёт строгой идемпотентности стадий и чётких точек принятия решения. Повторный запуск установки после сетевого сбоя безопасен: временная директория очищается перед новой попыткой; если артефакт уже присутствует и его хэш совпадает с ожидаемым, скачивание пропускается. Конкурентные установки сериализуются с помощью межпроцессной блокировки, чтобы избежать состояния гонки при записи в одинаковые каталоги. Журналирование событий ведётся в текстовый лог с метками времени и кодами этапов, что облегчает поддержку и разбор инцидентов. Для администрирования предусмотрены коды ошибок (например, *E-NET-TIMEOUT*, *E-HASH-MISMATCH*, *E-VERSION-INCOMPATIBLE*, *E-REG-FAILED*), которые одновременно идут в лог и отображаются пользователю понятным сообщением.

С точки зрения безопасности важно исключить выполнение произвольного кода до завершения валидаций. Поэтому модуль трактует любые *postInstall* действия как декларативные (например, «зарегистрировать библиотеку в менеджере приложений»), а не исполняет скрипты из пакета. Поддержка подписи в манифесте позволяет организациям выстроить собственную цепочку доверия: клиенты принимают пакеты только от доверенных издателей. Для корпоративных установок предусмотрена прокси-настройка и зеркала каталога, чтобы ограничить доступ во внешний интернет; хранилище может быть реплицировано в локальную сеть предприятия.

Особое внимание уделяется пользовательскому опыту. Плагин предоставляет ясную лестницу состояний: «Готово к установке» → «Загрузка» → «Проверка» → «Размещение» → «Регистрация» → «Готово». На каждом шаге показывается прогресс и пояснения, а при ошибке – точная причина и рекомендация (повторить попытку; проверить связь; сверить версию КОМПАС-3D; обратиться к разработчику библиотеки). После успешной регистрации пользователь может сразу включить приложение и проверить, что новые команды появились. При обновлении существующей библиотеки модуль сопоставляет версию установленного экземпляра и последнюю доступную в каталоге и предлагает обновление с кратким списком изменений (если разработчик заполнил *release notes*).

Внедрение описанной архитектуры даёт инженерной команде ряд преимуществ. Во-первых, резко снижается барьер установки и обновления библиотек – разработчики концентрируются на функциональности, а пользователи получают «магазин приложений» внутри КОМПАС-3D. Во-

вторых, повышается надёжность за счёт строгих проверок и отложенной активации: рабочая конфигурация остаётся неизменной до момента, когда все проверки пройдены. В-третьих, формализованный манифест становится источником правды для совместимости, атрибутов и аудита: администраторы видят, что именно и когда было установлено. Наконец, архитектура хорошо масштабируется: серверная часть горизонтально масштабируется по чтению каталога, а клиентский плагин работает офлайн с уже загруженными манифестами до момента выбора установки.

Список литературы

1 АСКОН. КОМПАС-3D. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. СПб.: ООО «АСКОН», б/г. – URL: https://kompas.ru/source/info_materials/user-manuals/rukovodstvo-polzovatelya-kompas-3d.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

2 АСКОН. КОМПАС-3D. Руководство программиста (API и разработка приложений) [Электронный ресурс] (KOMPAS-Invisible). – СПб.: ООО «АСКОН», б/г. – URL: <https://kompas.ru/source/documents/2021/%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20KOMPAS-Invisible.pdf> (дата обращения: 10.09.2025).

3 АСКОН. Менеджер приложений КОМПАС-3D: методические материалы и справка по установке. rtw/.dll [Электронный ресурс] («Подключение приложения»). – СПб.: ООО «АСКОН», б/г. – URL: https://help.ascon.ru/SplitConnection3D/23/ru-RU/z_attach_library.html (дата обращения: 10.09.2025).

4 Хабр. Проверка целостности исполняемых файлов [Электронный ресурс]. – М.: Хабр, 2023. – URL: <https://habr.com/ru/articles/753338/> (дата обращения: 10.09.2025).

**Влияние генезиса на термическое поведение
магнийсодержащих материалов при производстве
оксида магния**

**Махновская¹ А.С., Гришин¹ И.А., Пояркова² Е.В., д-р техн. наук, доцент
1ООО «ЭКСИС», г. Ясный,**

**2Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в настоящей работе исследовано влияние генезиса на термическое поведение ряда магнийсодержащих материалов, включая природные минералы (серпентинит, доломит, брусит) и синтетический карбонат магния, с целью оптимизации процессов получения оксида магния (MgO). Проведен комплексный анализ образцов методами термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгеновской дифракции (XRD). Показано, что термическое разложение и фазовые превращения исследованных материалов существенно зависят от их происхождения, химического состава и кристаллической структуры. Установлены оптимальные температурные режимы для обжига каждого типа сырья, позволяющие минимизировать энергозатраты и повысить качество получаемого оксида магния. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных технологий производства MgO из различных видов магнийсодержащего сырья.

Ключевые слова: оксид магния, магнийсодержащие материалы, генезис, термическое поведение, обжиг, фазовые превращения.

Производство оксида магния (MgO) является важной областью современной промышленности, обусловленной широким спектром его применения в огнеупорных материалах, строительстве, сельском хозяйстве и медицине. В этой связи, актуальной задачей является поиск и разработка эффективных технологий получения MgO из различных видов магнийсодержащего сырья. Природные минералы, такие как серпентинит, доломит и брусит, а также синтетические продукты, такие как карбонат магния, представляют собой перспективные источники MgO. Однако, выбор оптимального сырья и разработка технологических режимов его переработки требуют детального изучения термического поведения и фазовых превращений этих материалов [1-4].

Известно, что термическое разложение и образование MgO из различных магнийсодержащих соединений существенно зависят от их генезиса, химического состава и кристаллической структуры. В связи с этим, целью настоящего исследования стало комплексное изучение влияния генезиса на термическое по-

ведение ряда магнийсодержащих материалов с использованием методов термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгеновской дифракции (XRD) для оптимизации процессов получения оксида магния. В перспективе полученные результаты позволят разработать эффективные технологические решения для производства MgO из различных видов магнийсодержащего сырья.

В качестве объектов исследования были выбраны магнийсодержащие материалы различного генезиса, включающие природные минералы и синтетический продукт:

- серпентинитсодержащая руда Кимбаевского месторождения (Оренбургская область). Серпентинит представляет собой гидратированный силикат магния, характеризующийся сложным фазовым составом, включающим хризотил, антигорит и лизардит. Кимбаевское месторождение является источником хризотилового волокна, и исследуемая руда представляет собой отходы обогащения данного месторождения. Фракционный состав руды был представлен частицами размером 1,25 мм (торговое наименование ГТР или ПК-1,25), что соответствует определенному гранулометрическому классу, используемому в промышленных процессах;

- доломит Саткинского месторождения (Челябинская область). Доломит является карбонатом магния и кальция ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), широко распространенным в осадочных породах. Саткинское месторождение известно своими высококачественными доломитами, используемыми в различных отраслях промышленности. Исследуемые образцы были представлены фракцией доломитового щебня размером менее 10 мм, являющейся побочным продуктом добычи и переработки доломита;

- магнезит Халиловского месторождения (Оренбургская область). Магнезит представляет собой карбонат магния (MgCO_3) и является основным минералом для производства MgO. Халиловское месторождение является одним из ключевых поставщиков магнезита в России. Образцы были представлены фракцией менее 3 мм, полученной после обогащения и прокаливания исходного сырья. Данная фракция характеризуется повышенным содержанием MgO и низким содержанием примесей (SiO_2 , Fe_2O_3);

- брусит Кульдурского месторождения (Еврейская автономная область). Брусит представляет собой гидроксид магния ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) и является ценным источником MgO. Кульдурское месторождение является одним из крупнейших месторождений брусита в России. Образцы были представлены фракцией менее 10 мм, подвергшейся термической обработке при относительно низких температурах.

– синтетический карбонат магния. Синтетический карбонат магния был получен путем карбонизации обожженного доломита. Образцы были представлены фракцией менее 40 мкм и характеризуется повышенной чистотой и низкой температурой обжига.

Выбор представленных магнийсодержащих материалов обусловлен их различным генезисом, химическим составом, кристаллической структурой и распространенностью, что позволяет изучить влияние этих факторов на термическое поведение и фазовые превращения в процессе получения MgO. Размер фракций был выбран с учетом технологических требований и для обеспечения представительности образцов.

Термическое поведение и фазовые превращения исследуемых материалов изучались с использованием сверхбыстрого калориметра Flash DSC 1 (Mettler Toledo, Швейцария), оснащенного чип-сенсором UFS 1. Данное оборудование позволило регистрировать изменения теплофизических свойств с высокой скоростью нагрева/охлаждения. Фазовый состав образцов определялся методом порошковой рентгеновской дифракции (XRD). Параметры эксперимента: рентгеновское излучение – 30 кВ, 15 мА; скорость сканирования – 5°/мин; шаг сканирования – 0,02°; диапазон – 3-100° 2 θ ; фильтр – K-beta (x1); детектор – D/teX Ultra; тип сканирования – 2Theta/Theta.

Ниже представлены результаты, полученные методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии при исследовании магнийсодержащих материалов. Как известно, метод термогравиметрии позволяет отслеживать изменение массы образца в процессе нагревания, а дифференциальная сканирующая калориметрия – фиксировать эндотермические и экзотермические эффекты, сопровождающие термические процессы.

Серпентинитсодержащая руда (ГТР).

Термическое разложение образцов ГТР происходило в несколько этапов. Первый эндотермический эффект наблюдался в диапазоне температур от 353,8 °С до 427,0 °С, достигая максимума теплового эффекта при 402,3 °С. Этот процесс сопровождался потерей массы в размере 13,2 %. Данный эффект, вероятно, обусловлен удалением адсорбированной воды и началом дегидратации минералов группы серпентина, входящих в состав руды. Второй, более интенсивный эндотермический эффект, был зарегистрирован в температурном диапазоне от 615,0 °С до 703,6 °С, с максимумом при 668,6 °С, и интерпретируется как дегидроксилирование серпентина, то есть удаление структурной воды из кристаллической решетки минерала. На кривой дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) этому эффекту соответствует минимум при температуре 673,2 °С. Экзотермический эффект, зарегистрированный в диапазоне температур

от 811,5 °С до 829,8 °С, может быть связан с образованием новых фаз, в частности, форстерита, что указывает на перекристаллизацию компонентов серпентина при высоких температурах.

Доломит.

Термическое разложение доломита протекает в две основные стадии, отражающие последовательное разложение карбонатов. Первый эндотермический эффект зафиксирован в интервале температур от 552,8 °С до 670,8 °С, с максимумом при 640,2 °С. На кривой ДТГ также отмечался соответствующий минимум при 634,4 °С. Этот процесс обусловлен диссоциацией доломита с образованием карбоната кальция и оксида магния. Второй эндотермический эффект наблюдался в температурных диапазонах от 751,0 °С до 775,7 °С (максимум 766,9 °С) и от 793,4 °С до 867,4 °С (максимум 847,1 °С), что связано с разложением карбоната кальция, образовавшегося на предыдущем этапе. Общая потеря массы при термическом разложении доломита составила 44,3 %.

Магнезит.

При анализе магнезита наблюдалось два эндотермических эффекта. Основной эндотермический эффект зарегистрирован в диапазоне температур от 562,8 °С до 657,7 °С, с максимумом при 623,6 °С. На кривой ДТГ также отмечался соответствующий минимум при 622,0 °С. Данный эффект соответствует диссоциации магнезита, приводящей к образованию оксида магния и выделению углекислого газа. Второй эндотермический эффект, проявляющийся в диапазоне температур от 720,3 °С до 805,8 °С (максимум 783,3 °С и минимум на кривой ДТГ при 777,8 °С), вероятно, связан с дальнейшим разложением остаточного карбоната магния, не полностью разложившегося на первом этапе. Общая потеря массы при термическом разложении образца составила 46,5 %.

Брусит.

Термическое разложение брусита протекает в две основные стадии, связанные с дегидратацией гидроксида магния. Первый эндотермический эффект наблюдался в температурном диапазоне от 399,8 °С до 493,8 °С, с максимумом теплового эффекта при 451,3 °С и соответствующим минимумом на кривой ДТГ при 447,8 °С. Этот эффект связан с удалением адсорбированной воды. Второй эндотермический эффект наблюдался в интервалах температур от 600,2 °С до 661,3 °С (максимум при 638,5 °С и минимум на кривой ДТГ при 627,5 °С) и от 751,0 °С до 829,1 °С (максимум при 808,6 °С и минимум на кривой ДТГ при 810,7 °С), и, как предполагается, связан с дегидроксилированием брусита с образованием оксида магния. Общая потеря массы при термическом разложении составила 31,7 %.

Карбонат магния.

При анализе синтетического карбоната магния зафиксированы два эндотермических эффекта. Первый эффект проявляется в диапазоне температур от 251,6 °С до 321,3 °С, достигая максимума при 279,1 °С и минимума на кривой ДТГ при 277,8 °С, что, вероятно, связано с десорбцией воды, присутствующей на поверхности частиц карбоната. Второй эффект зарегистрирован в диапазоне температур от 403,2 °С до 480,0 °С, с максимумом при 449,1 °С и минимумом на кривой ДТГ при 447,5 °С, и соответствует диссоциации карбоната магния с образованием оксида магния и углекислого газа. Общая потеря массы в процессе термоллиза составила 59,52 %.

Представленные результаты, полученные методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии, демонстрируют, что термическое поведение магнийсодержащих материалов в значительной степени зависит от их генезиса. Каждый материал характеризуется специфическими температурными диапазонами разложения, различными величинами тепловых эффектов, а также разным количеством стадий разложения, что отражает различия в составе и структуре исследуемых соединений. Эти данные могут быть использованы для оптимизации технологических процессов получения оксида магния из различных типов сырья.

Список литературы

1 Термическое разложение магнезита и доломита саткинского месторождения / М. П. Красновских, А. А. Кетов, Ю. А. Кетов, Я. И. Вайсман // Вестник пермского университета. Химия. – 2017. – Том №7, выпуск 2. – С. 145-150.

2 Техногенное минеральное сырье Урала (Развитие минерально-сырьевой базы России) : монография / В. А. Перепелицын [и др.] ; [отв. ред.: В. А. Коротеев, В. А. Перепелицын] ; РАН, УрО, Ин-т геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого. – Екатеринбург, 2013. – 332 с.

3 Исследование термического разложения природных и синтетических соединений магния / И. Д. Кашеев, К. Г. Земляной, В. М. Устьянцев, Е. А. Воскресцова // Новые огнеупоры: научные исследования и разработки. – Екатеринбург, 2015. – №10. – С. 28-35.

4 Структурные особенности оксидов магния, полученных из разных предшественников / Л. М. Плясова, Н. А. Васильева, И. Ю. Молина, Г. В. Одегова // Журнал неорганической химии. – 2005. – Т.50. – № 8. – С. 1225-1229.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГАЗОВОЙ ПРО- МЫШЛЕННОСТИ

Рагузин Д.А., Тугов В.В., д-р техн. наук, доцент, Воронин Е.Ю.
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в работе рассматриваются современные вызовы в области промышленной безопасности газовой отрасли, связанные с рисками утечек, взрывов и отказов оборудования. Анализируются ключевые информационные технологии, такие как IoT-мониторинг, AI-прогнозирование и Big Data, и их интеграция в единый комплекс с системами SCADA и автоматизации. Показано, что синергетический эффект от такого объединения позволяет перейти от реактивного к превентивному управлению безопасностью, значительно снижая вероятность аварий и оптимизируя операционные расходы.

Ключевые слова: газовая промышленность, промышленная безопасность, IoT, искусственный интеллект, машинное обучение, Big Data, SCADA, автоматизация, предиктивная аналитика, киберфизические системы.

Газовая промышленность сталкивается с серьезными вызовами в области безопасности из-за потенциальных рисков утечек, взрывов и отказов оборудования. Современные информационные технологии предлагают инновационные решения для минимизации этих рисков. В работе рассматриваются ключевые ИТ-решения включая: IoT-мониторинг, AI-прогнозирование, хранение и обработка больших данных при помощи технологии Big Data и их интеграция с SCADA-системами для повышения эффективности работы автоматизированных систем связанных с технической безопасностью.

Современные системы мониторинга на основе умных сенсоров и технологий Интернета вещей (IoT) представляют собой комплексное решение для непрерывного контроля состояния газового оборудования и инфраструктуры. В отличие от традиционных систем периодического контроля, IoT-мониторинг обеспечивает круглосуточное наблюдение за тысячами параметров в режиме реального времени.

Принцип работы заключается в следующем – система состоит из сети интеллектуальных датчиков нового поколения, устанавливаемых на всех критически важных узлах: магистральных трубопроводах, компрессорных станциях, резервуарах хранения и распределительных пунктах. Датчики оснащаются встроенными микропроцессорами и модулями беспроводной связи (LoRaWAN, NB-IoT, 5G), что позволяет им:

- непрерывно измерять давление (с точностью до 0,01 бар), температуру (погрешность $\pm 0,1$ °C), вибрации, концентрацию газа (чувствительность до 1 ppm);
- самостоятельно диагностировать свое состояние и калибровку;
- передавать данные через mesh-сеть или напрямую в облачную платформу;
- работать автономно до 5 лет за счет энергосберегающих технологий.

Преимущество рассмотренного решения заключается в том, что внедрение таких систем снижает затраты контроля на 60 % - 70 %, оптимизирует расходы на техобслуживание и дает возможность интегрироваться с системами автоматического отключения аварийных участков.

AI-прогнозирование аварийных ситуаций в газовой промышленности – это комплекс алгоритмов машинного обучения, способных анализировать огромные массивы операционных данных и выявлять скрытые закономерности, ведущие к потенциальным отказам оборудования. Такие системы переходят от реактивного к превентивному подходу в обеспечении безопасности, позволяя предотвращать инциденты до их возникновения. В качестве ядра выступают нейросетевые модели, обученные на исторических данных за 5-10 лет эксплуатации, включающих: технологические параметры (давление, температура, расход), результаты предыдущих диагностик оборудования, данные о произошедших авариях и их причинах, метеорологические условия и внешние факторы.

Рассматривая преимущества AI-прогнозирования аварийных ситуаций в газовой промышленности, важно отметить, что данная система может функционировать в трех режимах:

- режим реального времени – анализ поступающих данных с частотой до 100 раз в секунду;
- прогнозный режим – моделирование развития ситуации на 24-72 часа вперед;
- аналитический режим – углубленный анализ накопленных данных для выявления долгосрочных трендов.

Так же внедрение AI-прогнозирования позволит сократить простои оборудования потому, что появится возможность планирования ремонтов оборудования без остановки основного производства.

Big Data (Большие Данные) – это не просто большой объем информации, а комплексная технология работы с огромными массивами разнородных и быстрообновляемых данных, которые невозможно эффективно обработать традиционными способами. В контексте газовой промышленности эти данные генерируются ежесекундно тысячами датчиков IoT, оборудованием SCADA, метеостанциями, результатами инспекций и историческими архивами. Главная задача Big

Data – превратить этот гигантский, бесформенный массив сырых данных в структурированную, понятную и, самое главное, полезную информацию для принятия решений.

Преимущество данной технологии заключается в следующем:

1) осуществляется централизованный сбор и хранение всего массива данных. Big Data-платформа выступает в роли единого «хранилища данных» (Data Lake), где собирается вся информация. Система безопасности перестает опираться на разрозненные данные. Она получает holistic view – целостную картину состояния всего актива в реальном времени;

2) мощная обработка и выявление скрытых корреляций. Человеческий мозг не способен отследить, как незначительное падение давления на 7-м километре трубопровода в сочетании с повышением вибрации на насосной станции №5 и изменением температуры почвы может привести к аварии через 72 часа. Алгоритмы Big Data, основанные на распределенных вычислениях (например, в frameworks like Hadoop или Spark), находят эти сложные, неочевидные взаимосвязи;

3) накопление и долгосрочный анализ для прогнозирования. Без огромной исторической базы данных невозможно построить точную модель прогнозирования (AI). Big Data-платформа накапливает терабайты информации за годы эксплуатации, включая данные, которые привели к прошлым инцидентам.

Таким образом, в результате интеграции рассмотренных IT-решений получаем замкнутый цикл «сбор-анализ-прогноз-управление», где каждый компонент усиливает возможности других (рисунок 1).

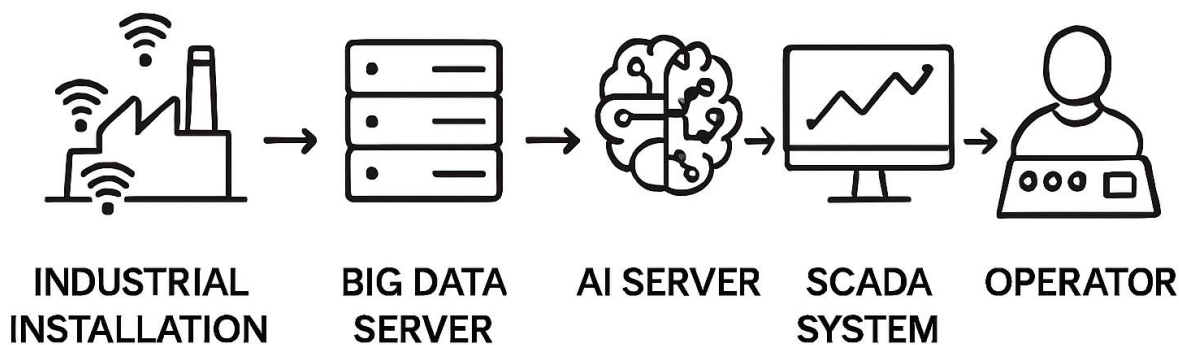


Рисунок 1 – Концепция применения информационных технологий для повышения технической безопасности в газовой промышленности

Оптимизация комплексных решений на основе IoT, AI, Big Data и SCADA-систем достигается за счет их глубокой интеграции в единый цифровой контур, где каждый элемент усиливает эффективность других, создавая синергетический эффект. IoT-сенсоры выступают поставщиками массивных потоков достоверных

данных в реальном времени, которые аккумулируются и структурируются на платформах Big Data, обеспечивая необходимое хранилище и вычислительную мощность для работы сложных AI-алгоритмов. Алгоритмы, в свою очередь, преобразуют сырые данные в ценные инсайты и предиктивные модели, которые напрямую интегрируются в интерфейс SCADA-системы, предоставляя диспетчерам не просто данные, а готовые рекомендации к действию и инструменты для автоматизированного управления, что в итоге замыкает цикл от сбора информации до автоматического исполнения команд, минимизируя человеческий фактор, сокращая время реакции на инциденты с часов до секунд и переводя управление безопасностью с реактивного на проактивный уровень, что в конечном счете оптимизирует капитальные и операционные расходы за счет предсказательного обслуживания и предотвращения катастрофических простоев.

Список литературы

1. Иванов, А.С. Применение IoT-технологий для мониторинга промышленной безопасности на объектах газового комплекса / А.С. Иванов, В.П. Петров // Автоматизация и IT в энергетике. – 2022. – № 5(167). – С. 34-41.
2. Смирнов, К.Л. Нейросетевые алгоритмы предиктивного анализа аварийных ситуаций в газотранспортных системах / К.Л. Смирнов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2021. – Т. 14. – № 4. – С. 78-89.
3. Рагузин, Д. А. Анализ применения автоматизированной системы управления технической безопасностью в газовой промышленности / Д. А. Рагузин, В.В. Тугов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию Оренбург. гос. ун-та, Оренбург, 30 янв. - 1 февр. 2025 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. - Оренбург : ОГУ, 2025. - . - С. 4251-4254. . - 4 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82411511&pff=1> .
4. Johnson, M. Big Data Analytics for Predictive Maintenance in Oil and Gas Industry / M. Johnson, S. Thompson // Proceedings of the 2020 International Conference on Data Science. – 2020. – P. 112-119.
5. РД 153-39.4-078-01 «Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200027964>.
6. Siemens AG. White Paper: Integrated SCADA Systems for Oil and Gas Industry [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/scada-systems.html> .

БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕКА

Решетов С.Ю., канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Никитин Ю.Р., канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Тимощенко Д.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе рассмотрены основные характеристики и классификация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также их применение в гражданской и военной сферах. Показано, что БПЛА активно используются для мониторинга, спасательных операций, доставки грузов и других задач, что стимулирует их внедрение и развитие инноваций. Приведен пример системы управления квадрокоптером на базе Arduino с расчётом тяги, подбором компонентов и электрической схемой.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, роботизированное устройство, дистанционное управление, бесколлекторный двигатель.

Беспилотный летательный аппарат, известный также как *дрон*, *коптер* или *БПЛА* (беспилотный летательный аппарат), представляет собой роботизированное устройство, оснащенное камерой и управляемое дистанционно человеком. Эти аппараты могут, как летать, так и плавать, обладают устойчивостью к различным атмосферным условиям и имеют множество преимуществ, что делает их полезными инструментами для получения информации и упрощения различных задач. Изначально разработанные для военных нужд, сегодня дроны активно применяются в самых разных сферах нашей жизни.

На рисунке 1 показано беспилотное воздушное судно типа «летающее крыло» СКАТ 350М [1], выпускаемое Ижевским авиационным заводом.

Беспилотные авиационные системы (БАС) представляют собой комплексы, включающие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и всю необходимую инфраструктуру для их эксплуатации. Эти системы находят применение как в гражданских, так и в военных сферах благодаря своему многофункциональному назначению.



Рисунок 1 – Пример беспилотного летательного аппарата типа «летающее крыло» СКАТ 350М [1]

Классификация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В зависимости от способа управления беспилотные аппараты можно классифицировать на несколько типов: неуправляемые БПЛА, автоматические беспилотники и БПЛА, управляемые дистанционно.

Если учитывать такие параметры, как масса, время полета, дальность и высота, можно выделить следующие категории беспилотников:

- «Микро»: до 10 кг, до 1 часа в воздухе, до 1 км в высоту;
- «Мини»: до 50 кг, несколько часов полета, до 9-10 км;
- «Миди»: до 1000 кг, 10-12 часов в воздухе, 3-5 км в высоту;
- Тяжелые БПЛА: более 1000 кг, 24 часа и более в полете, до 20 км в высоту.

По месту старта и посадки БПЛА делятся на: наземные; воздушные; воздушно-космические; космические.

По количеству применений БПЛА бывают: одноразовые и многоразовые. Среди различных типов беспилотников можно выделить: мультироторные коптеры; самолетного типа; вертолетного типа; летающее крыло; конвертопланы; гибридные модели.

Российская классификация БПЛА ориентирована в основном на военное назначение и отличается от международной UVS International: в ней отсутствуют некоторые группы и классы, а лёгкие БПЛА имеют большую дальность полёта. Каждый тип аппарата выполняет свои задачи: микродроны подходят для обучения пилотированию, лёгкие квадрокоптеры — для доставки небольших грузов.

Согласование полетов. Для выполнения полетов на дронах и квадрокоптерах необходимо получить специальное разрешение на использование воздушного пространства [2]. Дроны весом более 30 кг нужно зарегистрировать, а

пилот — иметь сертификат летной годности и свидетельство внешнего пилота. Полёты над населёнными пунктами требуют разрешения местных властей. Заявку на режим полёта подают за сутки, а за 2 часа до вылета пилот связывается с диспетчером.

Области применения беспилотных авиационных систем. Беспилотные авиационные системы широко применяются благодаря способности эффективно выполнять сложные задачи. В военной сфере они используются для разведки, наблюдения, мониторинга конфликтов и точечных ударов, снижая риски для пилотов. Также БАС применяются для доставки грузов в труднодоступные и опасные районы.

В последние годы подразделения Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС) России активно используют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [3]. Сложность задач, стоящих перед МЧС РФ, обусловлена территориальными особенностями страны и наличием регионов с высоким риском возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) различного характера. Часто бывает крайне сложно провести исследование зоны ЧС с помощью пилотируемой авиации, а также опасно осуществлять изучение места происшествия с использованием человеческих ресурсов.

БПЛА «Орлан-10» (см. рисунок 2) – многофункциональный беспилотный комплекс, предназначенный для наблюдения за протяженными (например, нефтегазопроводами, лесными массивами) и локальными объектами в труднодоступных районах [4].



Рисунок 2 – Беспилотный летательный аппарат «Орлан-10»

БПЛА разработан ООО «Специальный технологический центр» (СТЦ) в 2010 году и активно используется в поисково-спасательных операциях. Выпу-

щено около 200 единиц. Аппарат оснащён фотоаппаратом, гиростабилизированной камерой и может нести тепловизор или радиопередатчик. Наземный пункт управления позволяет одновременно управлять четырьмя комплексами.

Пример разработки системы управления квадрокоптера. В настоящее время научной и учебной литературы по проектированию систем управления БАС недостаточно, т.к. данное направление является новым и динамично развивающимся [5].

Проектирование системы управления начинается с анализа объекта управления – квадрокоптера. Квадрокоптер имеет размеры 400х400х78 мм, массу 1,2 кг.

Отношение тяги к весу: 2. Общая требуемая тяга = 1,2 кг × 2 = 2,4 кг. Тяга одного двигателя рассчитывается по формуле:

$$\text{Тяга двигателя} = \frac{\text{Общая требуемая тяга}}{\text{количество двигателей}} = \frac{2,4}{4} = 0,6 \text{ кг.}$$

Для квадрокоптера выбран бесколлекторный двигатель EMAX RS2306 2400KV с 5-дюймовым двухлопастным пропеллером Gemfan 5040, обеспечивающим хорошую тягу при компактных размерах. Электронный регулятор скорости BLHeli_S рассчитан на ток до 30 А. Для ориентации используется IMU MPU6050 с гироскопом и акселерометром, а для предотвращения столкновений – ультразвуковые датчики HC-SR04. Управление квадрокоптером реализовано через плату Arduino Mega 2560, электрическая схема представлена на рисунке 3.

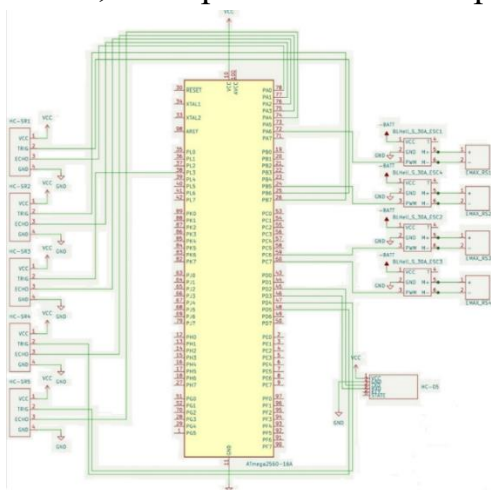


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная системы управления квадрокоптером на базе отладочной платы Ардуино 2560

Заключение. Разработка и производство БПЛА — одна из наиболее перспективных областей технологий, так как они экономичны и эффективны как в военной, так и в гражданской сферах. Для квадрокоптера выбраны двигатель

EMAX RS2306 2400KV, пропеллер Gemfan 5040, ESC BLHeli_S, IMU MPU6050 и ультразвуковые датчики HC-SR04. Управление реализовано через Arduino Mega 2560, электрическая схема разработана.

Рисунки заимствованы из общедоступных интернет-источников.

Список литературы

1. Сайт Ижевского авиационного завода. Режим доступа: [URL:https://iazaero.ru/](https://iazaero.ru/). Дата обращения: 25.04.2025.
2. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 (ред. от 12.07.2016) «[Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации](#)».
3. [Корнилов, К. В. Применение беспилотных летательных аппаратов на службе МЧС России / К. В. Корнилов, А. Н. Бочкарев // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2020. – № 1\(5\). – С. 335-337.](#)
4. Управление беспилотным воздушным судном «Орлан-10» на протяженных маршрутах / В. А. Шишков, В. В. Макаров, С. А. Кудряков [и др.] // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2017. – № 9. – С. 16-21. – EDN ZTHZNB.
5. Белов, Н. В. Бортовые информационно-управляющие системы. Практикум : учебное пособие / Н. В. Белов, Д. Н. Безумнов. – Москва : МТУСИ, 2022. – 16 с. – Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/333695> (дата обращения: 25.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ОДНОКАРБИДНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА МАРКИ ВК8

Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Висицкая А.В, Карабажак Т.Б
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

Аннотация: использование инструментальных спечённых твёрдых сплавов в металлообработке стало настоящим прорывом в этой сфере. Благодаря им скорость обработки металлов увеличилась в несколько раз по сравнению с использованием быстрорежущей стали. Это позволило значительно повысить эффективность работы в металлообрабатывающей промышленности.

В результате углубленного изучения повышения эксплуатационных свойств пластин для резания, доказано, что термическая обработка дает хорошие результаты в современное время.

Термообработку используют как промежуточный этап для улучшения обрабатываемости резанием или давлением. Также она может быть завершающим этапом технологического процесса, который обеспечивает нужные свойства детали. В данной работе рассмотрим влияние термической обработки на алмазно-абразивный износ, микротвердость и микроструктуру.

Ключевые слова: термическая обработка, закалка, отпуск, микротвердость, алмазно-абразивный износ.

Для исследований были выбраны образцы твердого сплава марки ВК8. С целью улучшения физических и механических характеристик образцы были подвергнуты термической обработке [1-6]. Для нагрева образцов применялась муфельная печь модели ПМ-14М. Циклограмма, с помощью которой образцы твердого сплава подвергались термической обработки, представлена на рисунке 1.

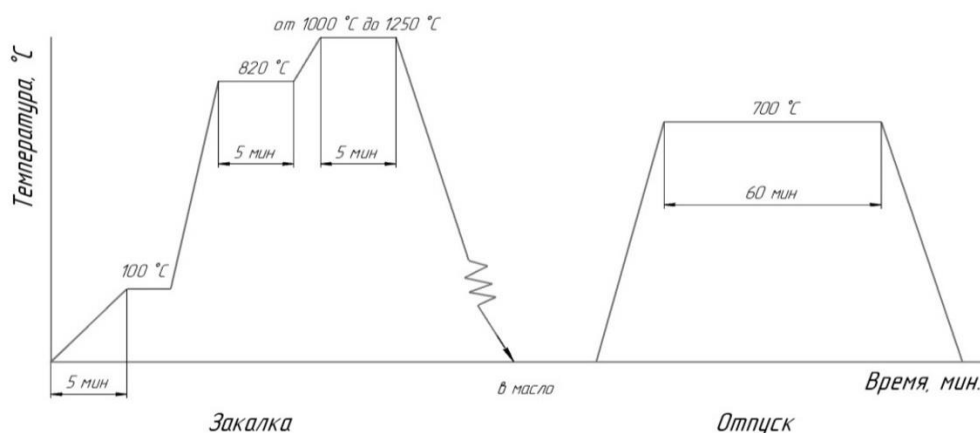
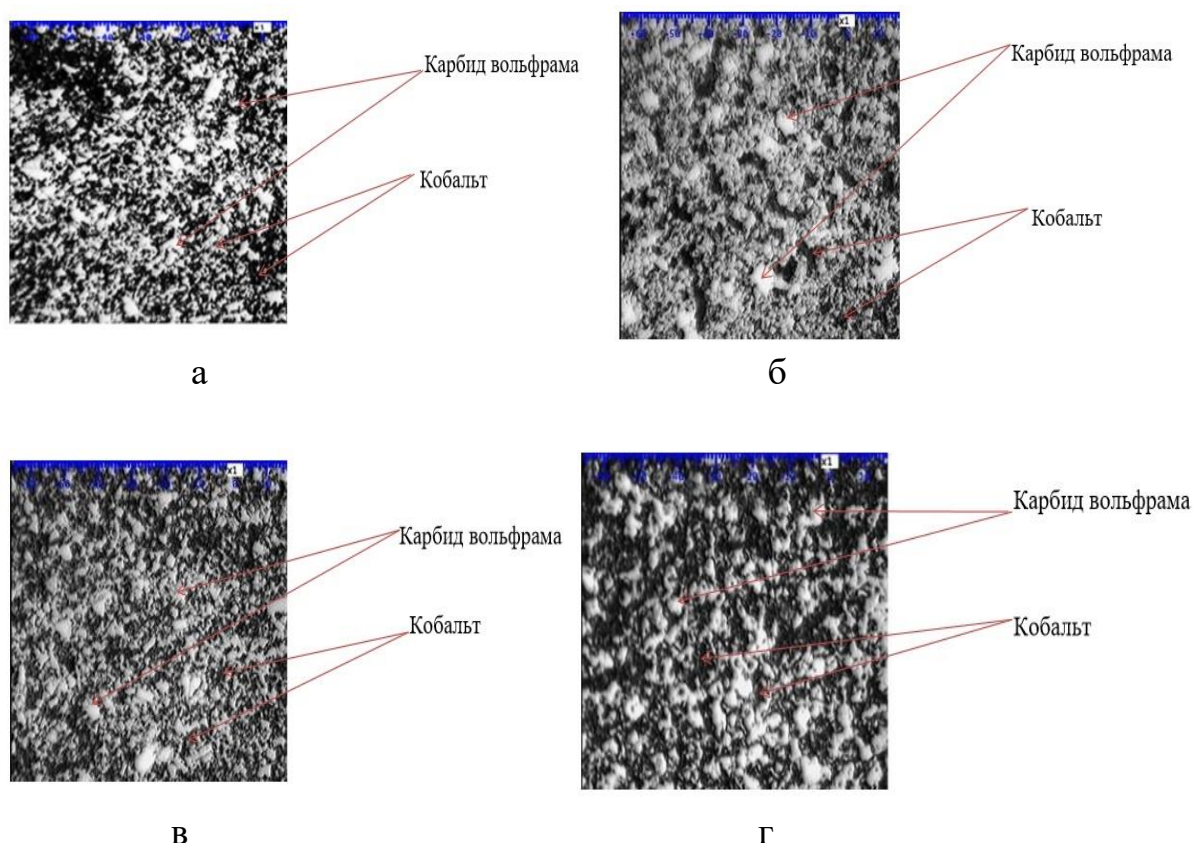


Рисунок 1 – Циклограмма твердого сплава ВК8

Была проанализирована микроструктура, результаты анализа представлены на рисунке 2.



а – исходный; б – температура закалки 1000 °С,
температура отпуска 700 °С; в – температура закалки 1050 °С,
температура отпуска 700 °С; г – температура закалки 1150 °С,
температура отпуска 700 °С

Рисунок 2 – Микроструктура VK8 после термообработки

Анализ микроструктуры выявил, что термическая обработка приводит к изменениям в структуре материала, в частности, к измельчению карбидных включений. Также после термической обработки были проведены исследования на микротвердость, результаты представлены на рисунке 3.

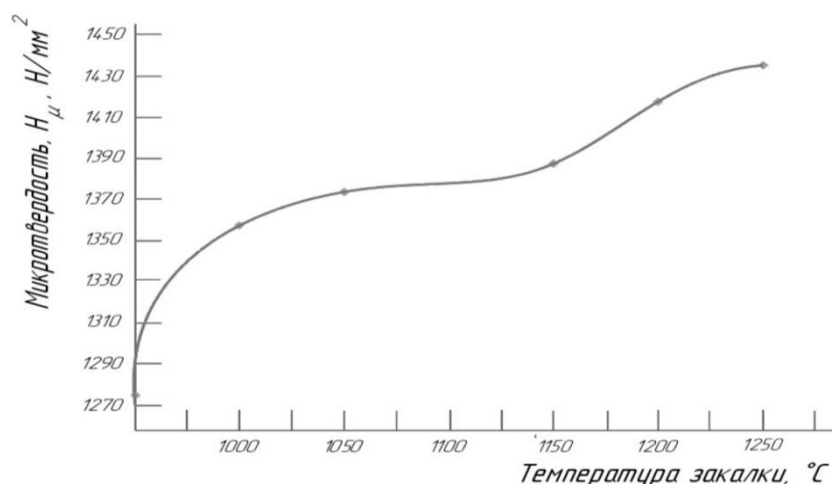


Рисунок 3 – Результаты испытаний на микротвёрдость

Основываясь на представленных сведениях, можно сделать вывод, что термическая обработка способствует увеличению микротвёрдости на 6 % –12 % по сравнению с исходным материалом.

Были проведены испытания на алмазно-абразивный износ, результаты показаны на рисунке 4.

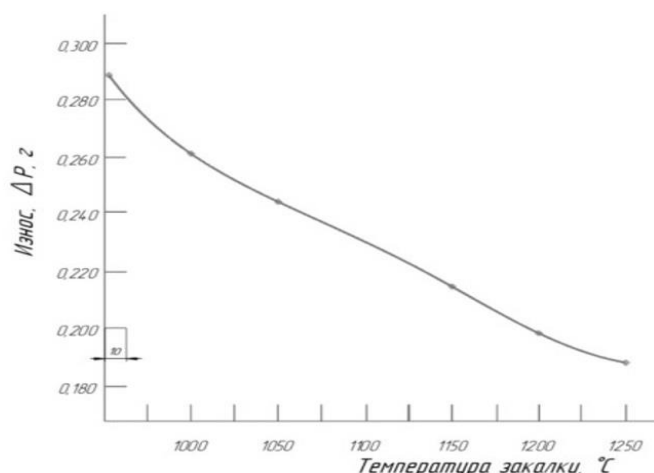


Рисунок 4 – Алмазно-абразивный износ после термической обработки

Испытания на алмазно-абразивный износ продемонстрировали, что после термообработки масса образца уменьшилась почти на треть по сравнению с исходным состоянием.

На основании результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Термообработка по режиму «закалка при температурах от 1000 °C до 1250 °C и отпуск при температуре 700 °C» приводит к измельчению карбидных зёрен.

2. Термообработка по режиму «закалка при температуре 1250 °C и отпуск при температуре 700 °C» увеличивает микротвёрдость на 12 % и снижает алмазно-абразивный износ по массе на 34 %.

3. Термическая обработка является относительно простым и доступным методом улучшения физико-механических свойств твёрдых сплавов на основе вольфрама и кобальта.

Список литературы

1 Креймер, Г.С. Прочность твердых сплавов / Г.С. Креймер. – М.: Металлургия, 1971. – 247 с.

2 Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувиллин. – М.: МИСИС, 2001. – 428 с.

3 Слесарчук, В.А. Материаловедение и технология материалов / В.А. Слесарчук. – Минск.: РИПО, 2019. – 391 с.

4 Guo Zhixing., Xiong Ji., Yang Mei., Jiang Cijin. WC–TiC–Ni cemented carbide with enhanced properties // J. Alloys and Compnd. 2020. Vol. 465. No. 1-2. P. 157–162.

5 Панов, В.С. Научные положения регулирования свойств спеченных твердых сплавов / В.С. Панов, В.К. Нарва // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. – № 6. – С. 25-29.

6 Gurland J. The Fracture Strength of Sintered WC-Co Alloys in Relation to Composition and particle Spacing // Trans. Met.Soc. AIME. 1963. Vol. 227. No. 1 P. 28–43.

ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА T15K6 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Степанова М.П., Ласыгина С.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: существует множество способов повышения эксплуатационных свойств твердых сплавов, это и термическая обработка, и лазерная обработка, и ионное азотирование и карбонитрация. В данном исследовании подробно остановимся при рассмотрении лазерной обработки твердого сплава T15K6, дающего большие результаты в увеличении срока службы сменных неперетачиваемых пластин. Состояние и свойства поверхности режущих кромок инструмента из твёрдых сплавов играют ключевую роль в определении его рабочих параметров и качества готовых изделий. Изменения в поверхностном слое влияют на функциональные и структурные особенности материала. Для повышения износостойкости инструмента можно применять традиционные методы физического и химического упрочнения поверхности твёрдых сплавов. Также существуют инновационные производственные процессы, которые могут быть использованы в качестве альтернативы, как раз в целях повышения эксплуатационных свойств можно использовать лазерную обработку.

Ключевые слова: Лазерная обработка, микротвердость, микроструктура, карбидные включения, износ.

В результате импульсной лазерной обработки поверхности твердого сплава WC-TiC-Co в исследованном диапазоне параметров лазерного пучка ($\tau = 15-35$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж, диаметр пятна $2-3 \pm 0,1$ мм, $\lambda = 1,06$ мкм) наблюдаются значительные изменения микроструктуры и фазового состава поверхностного слоя [1-5]. Внешний вид пластины после лазерной обработки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пластина после лазерной обработки

Анализ микроструктуры обработанных участков показал формирование кратеров и оплавленных зон, свидетельствующих о локальном плавлении и испарении материала под воздействием лазерного излучения. Глубина и ширина

кратеров зависят от энергии импульса и длительности воздействия лазера. Увеличение энергии импульса приводит к увеличению размеров кратеров и глубины модифицированного слоя (рисунок 2).

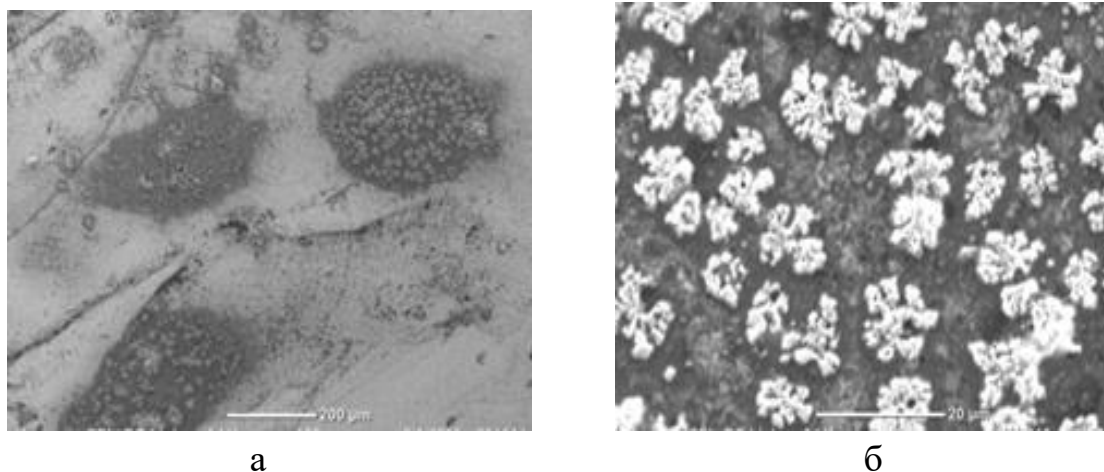
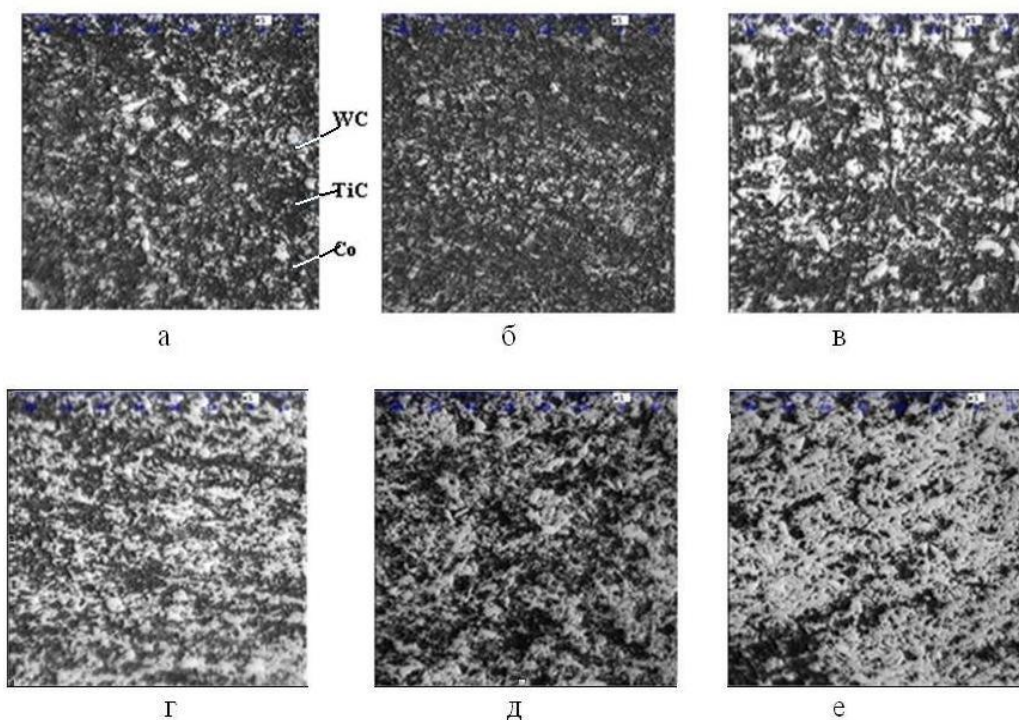


Рисунок 2 – Микроструктура твердого сплава Т15К6 после лазерной обработки при увеличении 100 (а) и 1500 (б)

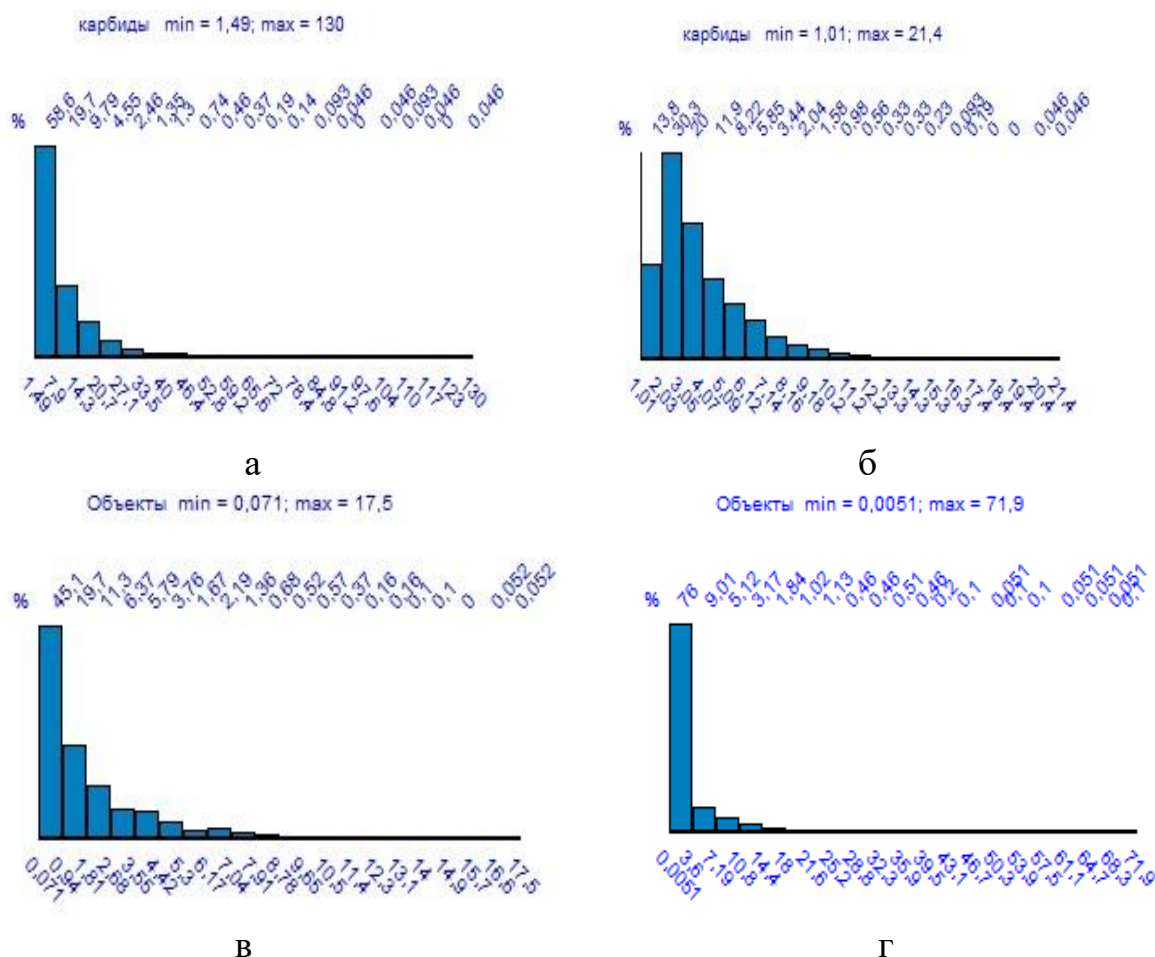
Микроструктура твердого сплава Т15К6 была проанализирована при увеличении 500 для различных режимов (рисунок 3).



а – исходный образец; б – $\tau = 15$ мс; в – $\tau = 20$ мс; г – $\tau = 25$ мс; д – $\tau = 30$ мс;
е – $\tau = 35$ мс

Рисунок 3 – Микроструктура Т15К6 после лазерной обработки х 500

Были проведены исследования с помощью замера карбидных включений, результаты показаны на рисунке 4.



а – исходный образец; б – $\tau = 15$ мс; в – $\tau = 20$ мс; г – $\tau = 25$ мс

Рисунок 4 – Гистограммы индивидуальных размеров после лазерной обработки

С помощью методов рентгенофазового анализа установлено, что в зоне лазерного воздействия происходит изменение фазового состава сплава. В частности, наблюдается частичное разложение карбидов WC и TiC с образованием более простых карбидов и выделением свободного углерода. На поверхности также формируются оксиды вольфрама и титана, что свидетельствует о взаимодействии расплавленного металла с кислородом воздуха.

Также были рассмотрены расположения площадей карбидов твердого сплава T15K6 на примере исходного образца и образца при $\tau = 15$ мс; в – $\tau = 20$ мс, исследования представлены на рисунке 5, в нем наглядно видно расположение площадей карбидов твердого сплава T15K6 для заданных режимов.

**Расположение площадей карбидов твердого сплава T15K6
для заданных режимов**

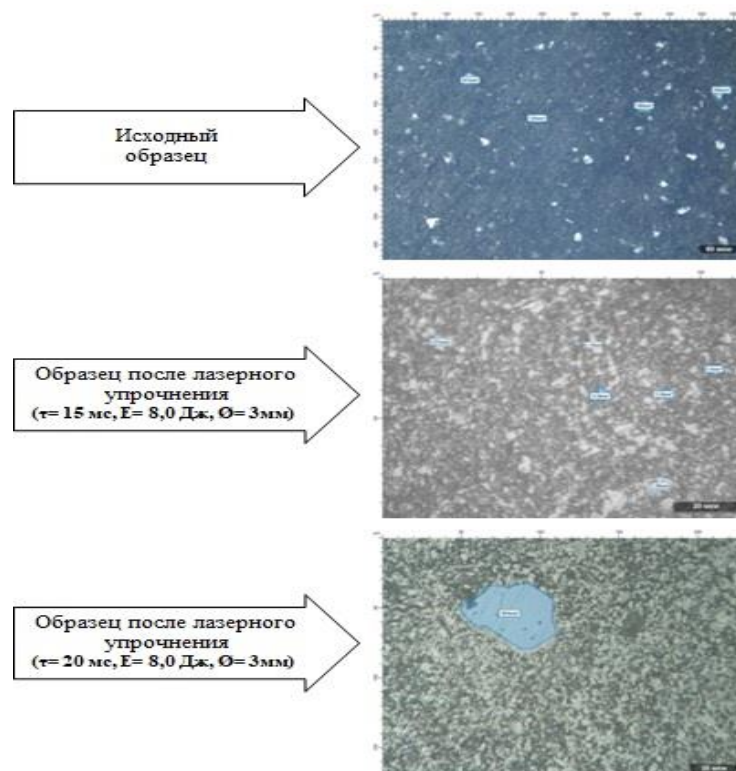


Рисунок 5 – Расположение площадей карбидов твердого сплава T15K6

Были проведены испытания на микротвердость исходного образца и образцов после лазерной обработки при различных режимах, результаты представлены на рисунке 6. Из анализа рисунка 6 видно, что микротвердость увеличивается в результате лазерной обработки. Лучшая микротвердость обнаружена при режиме $\tau = 30$ мс.



Рисунок 6 – Микротвердость после лазерной обработки

Микротвердость поверхностного слоя после лазерной обработки изменяется в зависимости от параметров обработки. В зоне оплавления, как правило, наблюдается снижение микротвердости, связанное с изменением фазового состава и формированием структур с меньшей твердостью. Однако, в зоне термического влияния, окружающей зону оплавления, может наблюдаться повышение микротвердости вследствие упрочнения материала.

Таким образом, импульсная лазерная обработка является эффективным методом модификации поверхности твердого сплава WC-TiC-Co, позволяющим изменять его микроструктуру, фазовый состав и механические свойства.

Список литературы

- 1 Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувилін. – М.: МИСИС, 2001. – 428 с.
- 2 Креймер, Г.С. Прочность твердых сплавов / Г.С. Креймер. – М.: Металлургия, 1971. – 247 с.
- 3 Слесарчук, В.А. Материаловедение и технология материалов / В.А. Слесарчук. – Минск.: РИПО, 2019. – 391 с.
- 4 Богодухов, С.И. Материаловедение / С.И. Богодухов. – М.: Старый Оскол, 2021. – 536 с.
- 5 Панов, В. С. Научные положения регулирования свойств спеченных твердых сплавов / В.С. Панов, В.К. Нарва // Известия вузов. Цветная металлургия – 2004. – №6. – С. 25-29.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ НАПЛАВКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ

Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Солодская Е.А.,
Шамсудинова Е.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: сталь марки 45 активно применяется в наши дни в производстве, существует множество методов повышения свойств стали 45, чтобы срок ее службы повышался и сокращались затраты на ремонт и приобретение новой. В данном исследовании остановимся на повышении свойств стали 45 наплавкой и термической обработкой. Сложности, с которыми сталкиваются при наплавке следующие это: трещины, образование закалочных структур, но в результате правильного соблюдения технологических мер, эти трудности были устранены. Для исследования выбирали образцы из круглого проката диаметром 20 мм и высотой 30 мм. Торцовые поверхности перед наплавкой проточили на токарном станке до шероховатости Ra 6,3, для лучшей сцепляемости наплавленного слоя с основным металлом.

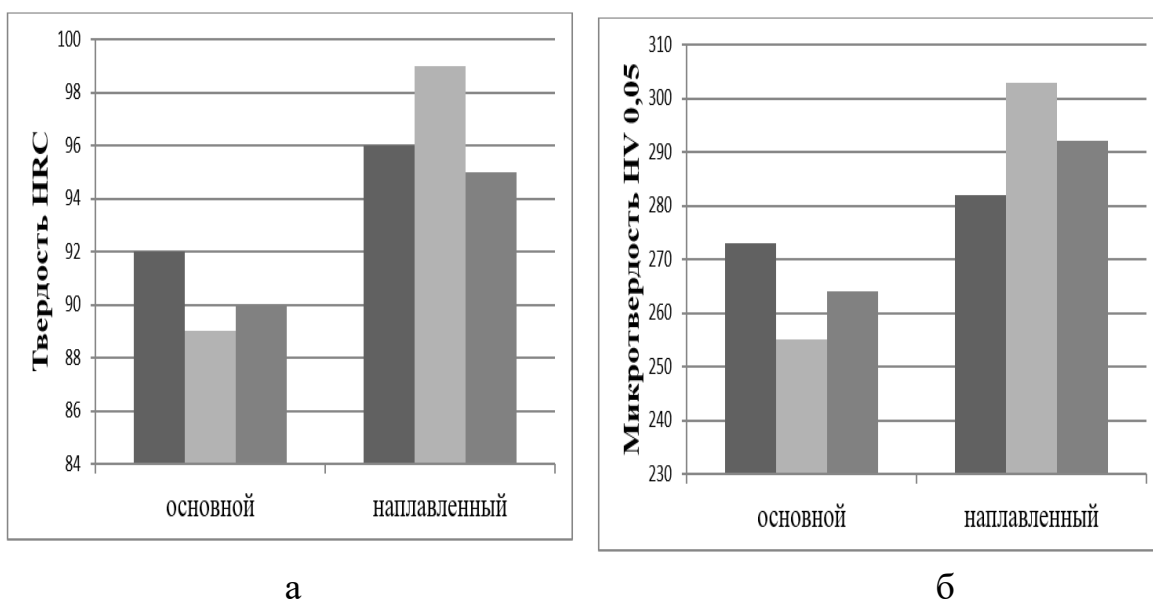
Ключевые слова: наплавка, сталь 45, трещины, микроструктура, твердость, феррит, перлит.

Проводили наплавку проволокой Нп-40Г ГОСТ 10543-98. Образец после наплавки представлен на рисунке 1. Наплавка производилась по следующему режиму: диаметр наплавляемой поверхности, 20 мм, скорость подачи проволоки 246 Вэп, м/ч, шаг наплавки 2 мм [1-4].



Рисунок 1 – Образец Нп-40Г после наплавки

Производилось исследование твердости и микротвердости, результаты представлены на рисунке 2.



а – твёрдость; б – микротвердость

Рисунок 2 – Исследование твердости и микротвердости

Из графиков видно, что наплавка с термической обработкой существенно увеличивает твердость и микротвердость.

Была изучена микроструктура исходного образца и после наплавки при увеличении 200 (рисунки 3-5).

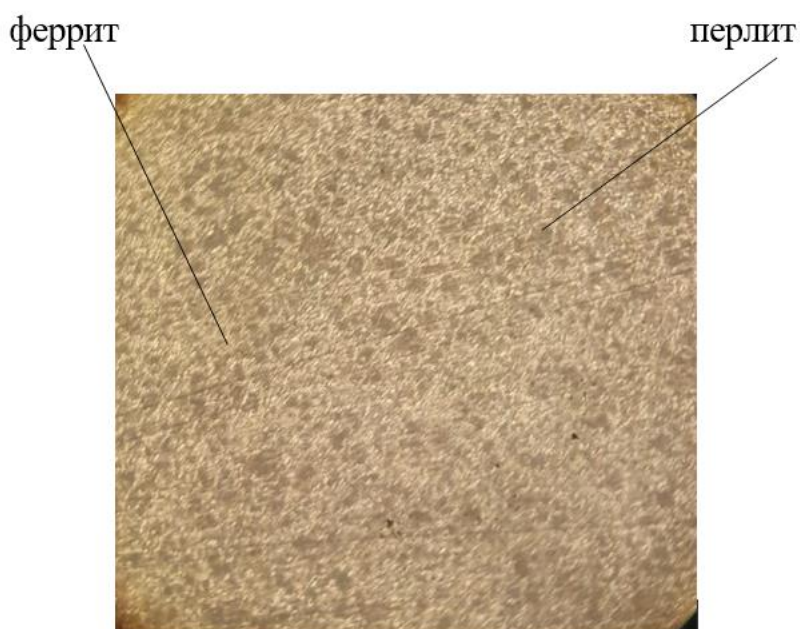


Рисунок 3 – Исходный Нп-40Г x 200



Рисунок 4 – После наплавки и отпуска х 200

В зоне сплавления наблюдается дендритная структура, свидетельствующая о кристаллизации в области сплавления наплавленного слоя с основным металлом, и образование игольчатой разноориентированной дисперсной фазы по всему сечению наплавленного шва. Эта микроструктура, характерная для процессов быстрой кристаллизации, обусловлена значительным градиентом температур и высокой скоростью охлаждения в процессе наплавки. Дендриты, формирующиеся в зоне сплавления, ориентированы в направлении от основного металла к напавленному слою, что указывает на направление отвода тепла.



Рисунок 5 – Зона сплавления после отпуска

Зона основного металла охлаждается медленнее, чем выше лежащие слои, поэтому ее микроструктура представляет собой мелкозернистую ферритно-перлитную структуру – сорбит отпуска (рисунок 6).

Микроструктура наплавленного слоя, зоны сплавления и основного металла показывает хорошее сцепление слоев, что подтверждает правильность выбранных режимов наплавки.



Рисунок 6 – Зона основного металла после наплавки

Разработанный режим механизированной вибродуговой наплавки стали 45 ГОСТ 1050-2013 наплавочной проволокой Нп-40Г ГОСТ 10543-98 с последующей термообработкой позволяет восполнить утраченный металл вала-шестерни и восстановить свойства детали в соответствии с техническими условиями.

В результате проведенных исследований установлено, что предложенный режим наплавки обеспечивает формирование качественного наплавленного слоя с минимальным количеством дефектов и оптимальной микроструктурой. Термическая обработка после наплавки позволяет дополнительно улучшить структуру металла, повысить его твердость и износостойкость, что критически важно для восстановления валов-шестерен, подвергающихся высоким нагрузкам в процессе эксплуатации. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования механизированной вибродуговой наплавки с применением проволоки Нп-40Г и последующей термообработкой для восстановления изношенных деталей типа вал-шестерня из стали 45. Данный метод позволяет значительно продлить срок службы дорогостоящих деталей и снизить затраты на их замену.

Список литературы

- 1 Шафиков, В.В. Основы деталей машин и механизмов: учебное пособие / В.В. Шафиков. – Липецк: ЛГПУ имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2021. – 101 с.
- 2 Слесарчук, В.А. Материаловедение и технология материалов / В.А. Слесарчук. – Минск: РИПО, 2019. – 391 с.
- 3 Богодухов, С.И. Материаловедение / С.И. Богодухов. – М.: Старый Оскол, 2021. – 536 с.
- 4 Куклин, Н. Г. Детали машин: учебник / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина, В.К. Житков, 9-е изд., перераб. и доп. – Москва: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 512 с.

ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА – ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

**Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор,
Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: В статье приводятся некоторые факты из истории создания Аэрокосмического института, его «жизни» в настоящее время и намечаются пути дальнейшего развития в условиях цифрового производства.

Ключевые слова: *Аэрокосмический институт, инженерные кадры, целевое обучение, повышение квалификации.*

Вчера

История создания Аэрокосмического института (АКИ) неразрывно связана с историей Оренбургского государственного университета [1, 2].

В 1955 году в Оренбурге было открыто вечернее отделение Куйбышевского индустриального института, первым заведующим которого стал Павел Александрович Юдковский. В 1961 году организован механический факультет вечернего обучения (приказ МВиССО РСФСР от 19.09.1961 № 513). В том же году состоялся первый выпуск инженеров-механиков по специальности 0501 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». В марте 1962 года организована кафедра общинженерных дисциплин, на базе которой в 1967 году организована кафедра «Сопrotивление материалов и деталей машин», а также кафедра «Технология машиностроения, резания, станков и инструментов». Обучение студентов с отрывом от производства организовано в 1965 году.

В процессе развития механический факультет расширялся, открывались новые специальности, несколько раз менялось название факультета (механический, автоматизированного машиностроения и технологий, машиностроительный, общего машиностроения и высоких технологий). Деканами факультета в разные годы работали П.А. Юдковский (1961–1971), В.А. Давыдов (1971–1973), Н.К. Крючков (1973–1975), А.Ф. Харитонов (1975–1981), Р.М. Сулейманов (1981–1986), В.Г. Коротков (1986–1989), П.С. Деревлёв (1989–1994), Е.И. Зеленский (1997–1998).

С целью интеграции образования, науки и производства, повышения качества подготовки специалистов, реализации решения вопроса непрерывного инженерного обучения в соответствии с общим приказом по производственному

объединению «Стрела» и Оренбургскому государственному университету (приказ от 06.03.1997 № 76) создан Технологический институт. В его состав включены факультет общего машиностроения и высоких технологий, индустриально-педагогический колледж и учебно-лабораторный корпус на территории ПО «Стрела». В 1998 году Технологический институт по приказу № 117 от 27.03.1998 переименован в Аэрокосмический (АКИ) [1].

В настоящее время в результате нескольких структурных преобразований в АКИ входит семь кафедр: летательных аппаратов; материаловедения и технологии материалов; механики материалов, конструкций и машин; производственных технологий обработки материалов; систем автоматизации производства; технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов; управления и информатики в технических системах.

В статусе Аэрокосмического института руководили структурным подразделением Е.И. Зеленский (1998–2002), А.И. Сердюк (2002–2004, 2007–2022), А.В. Попов (2004–2007). С 2023 г. и по настоящее время АКИ руководит Сергеев Александр Иванович. Из 27 лет существования АКИ 17 лет директором являлся Сердюк Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор. Именно в период его руководства произошло становление, формирование материальной базы, подготовка кадрового резерва и выработка вектора дальнейшего развития.

Сегодня

В период руководства Анатолий Иванович вывел АКИ в лидеры по ряду направлений. Этому способствовала его приверженность всему новому, он умел увидеть перспективные направления развития отраслей. В результате, в АКИ на сегодня сформирован один из самых масштабных парков вычислительной и периферийной техники, в большинстве аудиторий стационарно установлены проекторы и экраны, студенты и преподаватели обеспечены компьютерами и необходимым программным обеспечением. Чтение лекций в АКИ без проектора практически ушло в историю.

Подготовка инженерных кадров в АКИ ведётся с применением современного программного обеспечения по компьютерному моделированию, технологической подготовке производства, выполнения инженерных расчётов, разработке программного обеспечения, проведения научных исследований.

Высокому качеству подготовки способствует современная материально-техническая база АКИ. Лабораторные и практические занятия проводятся с использованием специализированных стендов, наглядных макетов изделий ракетной и авиационной техники, аэродинамической трубы, промышленных станков

с числовым программным управлением (ЧПУ), координатно-измерительной машины, промышленного робота, учебного класса ЧПУ, промышленных логических контроллеров, вакуумной печи.

Умение Анатолия Ивановича видеть перспективы технологического развития позволило сформировать материальную базу в области робототехники и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) задолго до того, как это стало трендом, развитие которого сегодня поддерживается на уровне национальных и федеральных проектов. В результате были организованы кружки для школьников по «Робототехнике» и «БПЛА», что позволило привлечь абитуриентов, увлечённых техникой и технологиями. Студенты АКИ традиционно занимают призовые места в Интеллектуальной олимпиаде IQ ПФО в номинациях «Робототехника» и «БПЛА» (рисунки 1, 2), активно участвуют в конференциях разного уровня (рисунки 3, 4).



Рисунок 1 – Награждение студентов АКИ за первое место на олимпиаде IQ ПФО в номинации «Робототехника», 2021 г.



Рисунок 2 – Борьба за второе место на олимпиаде IQ ПФО в номинации «Программирование БАС», 2025 г.



Рисунок 3 – Участники образовательной научно-технической конференции «Вокруг Земли за 108 минут», 2025 г.



Рисунок 4 – Проведение заседания секции XLVII Всероссийской студенческой научной конференции на кафедре ТММСК, 2025 г.

Полученные компетенции профессорско-преподавательского состава в результате подготовки студентов к олимпиадам, позволили сегодня поставить на поток повышение квалификации по программам дополнительного образования в области беспилотных авиационных систем, как самостоятельно, так и совместно с другими вузами, например, Университетом «Иннополис», Московским авиационным институтом.

Значительным рывком в развитии АКИ стало участие Оренбургского государственного университета в программе «Приоритет 2030». В этот период в АКИ создан «Научно-образовательный центр новых материалов и перспективных технологий», конструкторское бюро «Машиностроение». Совместно с Минцифрой Оренбургской области, ООО «АСУ ПРО» и Лабораторией Касперского создан межинститутский научно-образовательный центр «Информационная безопасность АСУ ТП». Увеличивается объём работ, выполняемых сотрудниками АКИ в интересах предприятий реального сектора экономики. Запрос на разработку конструкторской документации для производства аналогов изделий, которые не поставляются в Россию из-за санкций, вызвал необходимость развития навыков реверс инжиниринга, для успешной реализации которого АКИ оснащён стационарными и переносными 3D-сканерами, мощными компьютерами с установленным на них специализированным программным обеспечением, оборудованием для определения состава материалов. Компетенции, полученные профессорско-преподавательским составом в ходе выполнения хоздоговоров, в режиме реального времени интегрируются в образовательный процесс. Усиливается межинститутское взаимодействие, для выполнения проектов привлекаются специалисты Института энергетики, электроники и связи, Института математики и информационных технологий, что позволило расширить спектр задач, решаемых по запросам предприятий или в рамках грантовой деятельности.

Завтра

Следующей страницей развития АКИ является целевая подготовка кадров в рамках проекта по прохождению студентами старших курсов образовательных организаций высшего образования обучения по разработанным или актуализированным основным образовательным программам высшего образования в интересах организаций сферы производства средств производства и автоматизации в рамках реализации федерального проекта «Наука и кадры для производства средств производства и автоматизации» национального проекта по обеспечению технологического лидерства «Средства производства и автоматизации».

В ходе выполнения проекта планируется актуализация основных образовательных программ и обучение по ним не менее 75 студентов. Для этого разра-

батываются новые образовательные модули, сформированные с учётом специфики предприятий – партнёров: АО «ПО «Стрела», ПАО «Гидропресс», ООО «АСУ ПРО», ООО «Завод Инвертор». Для повышения мотивации студентов к трудоустройству на предприятия сферы производства средств производства и автоматизации разработан и реализуется план профориентационных мероприятий (рисунки 5, 6).



Рисунок 5 – Главный конструктор ПАО «Гидропресс» знакомит студентов АКИ с технологиями производства



Рисунок 6 – Студенты АКИ на спортивном фестивале молодежи «Салют, Стрела!», организованном АО «ПО «Стрела»

Увеличение уровня преподаваемого материала достигается, в том числе, за счёт прохождения курсов повышения квалификации сотрудников АКИ на профильных предприятиях в форме стажировки. На текущий момент девять сотрудников АКИ прошли повышение квалификации на АО «ПО «Стрела» по программе «Система автоматизированного проектирования технологических процессов «СПРУТ ТП нормирование». Четыре сотрудника прошли обучение по программированию промышленных и коллаборативных роботов REDS в ООО «ТЕХНОРЭД», г. Москва (рисунок 7).

Развитие института невозможно без привлечения молодых, перспективных кадров. В этом направлении реализуется практика трудоустройства аспирантов на кафедры АКИ и решение ими задач либо в рамках хоздоговорной деятельности, либо на основании трудоустройства по совместительству на предприятия реального сектора экономики. Опыт университетов, реализующих проекты Передовых инженерных школ, показывает, что подготовка современного инженера возможна только путём привлечения студентов к выполнению реальных задач, решаемых сотрудниками вузов по заказам предприятий. Имеющийся в АКИ единственный опыт по привлечению инициативных студентов и аспирантов к реализации хоздоговорных работ планируется к дальнейшему масштабированию. Ост-

рый дефицит инженерных кадров привёл к тому, что часть студентов уже сегодня начинают работать по специальности на третьем-четвёртом курсах. В результате помимо решения проблемы трудоустройства по окончании обучения, достигается, так называемый, «нулевой» период адаптации молодого специалиста.

Высокое качество подготовки кадров в АКИ видно не только работодателям, но и абитуриентам. В результате проведения приёмной кампании за последние десять лет в АКИ более чем в два раза увеличилось количество поступивших абитуриентов по всем уровням подготовки и формам обучения (рисунок 8).



Рисунок 7 – Повышение квалификации сотрудников АКИ по программам промышленной робототехники

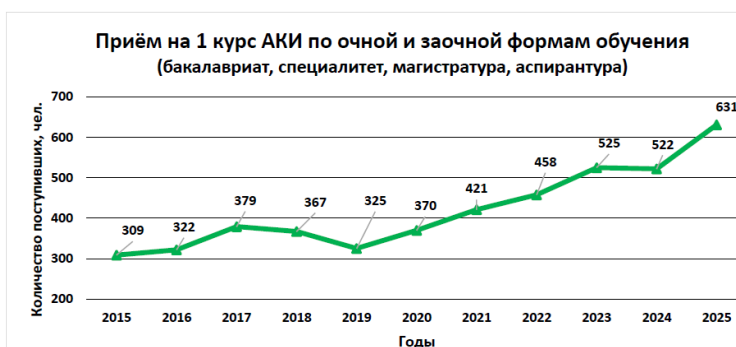


Рисунок 8 – Динамика изменения количества поступивших в АКИ абитуриентов за десять лет

Доверие, оказанное абитуриентами и работодателями Аэрокосмическому институту, высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав, современная материально-техническая база и современные технологии, применяемые при обучении студентов, позволяют с уверенностью смотреть в будущее и, тем самым, приближать эру развития цифрового производства.

Список литературы

1 Оренбургский государственный университет – Аэрокосмический институт: официальный сайт. – Электрон. дан. – Оренбург : ОГУ, 1999 – 2025. – Режим доступа : <http://www.osu.ru/doc/636/facult/5220> .

2 Оренбургский государственный университет. Люди. События. Факты. – под ред. В.П. Ковалевского. – Оренбург: Печатный дом «Димур», 2013. – 504 с.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПУТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАБОЧЕГО МЕСТА ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА

Серегин И.О., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: В статье рассмотрена автоматизированная расстановка оборудования на фиксированной карте помещения с использованием алгоритмов поиска пути. Проведен сравнительный анализ алгоритмов A^* , Дейкстры и волнового алгоритма Ли. Приведены рекомендации по использованию волнового алгоритма как наиболее оптимального для задач размещения оборудования, обеспечивающего корректность, предсказуемость и низкие вычислительные затраты.

Ключевые слова: алгоритм поиска пути, автоматизированное рабочее место, рабочее место, алгоритм A^* , алгоритм Дейкстры, волновой алгоритм Ли.

В условиях стремительного технологического прогресса и цифровизации производственных процессов возрастает необходимость в оптимальной организации труда специалистов, особенно в инженерной сфере. Современные компании сталкиваются с вызовом не только ускорения рабочих операций, но и улучшения их качества и точности. Для достижения этих целей, кроме обновления технической базы, также требуется и внедрение инновационных методов организации рабочих мест, которые задействуют инженерно-технологические компетенции [1].

Одной из актуальных задач на современных промышленных предприятиях является рациональная организация производственного пространства, включая оптимальное размещение технологического оборудования. Для инженера-технолога критически важно рациональное рабочее место, способствующее точному, оперативному и безопасному выполнению профессиональных обязанностей [2]. Его деятельность включает проектирование, моделирование и анализ технических решений, что требует высокой степени концентрации, доступности инструментов и соблюдения эргономических стандартов.

Рациональная организация рабочего пространства предполагает использование комплекса технических, программных и организационных решений, направленных на повышение эффективности, комфорта и производительности труда. Основные компоненты такой среды включают:

- аппаратные элементы (серверное и контрольно-измерительное оборудование, специализированные инструменты и устройства управления);

– организационные решения (оптимальное расположение оборудования и рабочих зон, обеспечение удобной навигации и эффективной командной работы).

Современные технологии позволяют автоматизировать планирование размещения оборудования за счёт применения определённых алгоритмов. При наличии информации о параметрах помещения и габаритах оборудования, такие системы проводят автоматизированный анализ архитектурных планов, определяют расположение стен, перегородок, проёмов и других элементов инфраструктуры. На основании этих данных формируется рациональная схема компоновки оборудования, результаты которой могут использоваться в виде технической документации – в частности, стандарта организации рабочего места [3].

В современных системах автоматизированного проектирования размещение оборудования можно формализовать как задачу поиска пути в пространстве, где необходимо определить допустимые позиции объектов с учётом препятствий и эргономических ограничений. В качестве графа, на основе которых работают большинство алгоритмов, будет рассматриваться равномерная двумерная сетка, представляющая собой помещение инженера, где каждая клетка может являться проходимой или непроходимой. Различные алгоритмы поиска пути обладают разной эффективностью в зависимости от размеров помещения, плотности препятствий и сложности конфигурации оборудования. Сравнительный анализ этих алгоритмов необходим для выбора подходящего метода, обеспечивающего оптимальное использование пространства и соблюдение заданных ограничений. Рассмотрим наиболее эффективные из них:

Алгоритм A^* - один из самых популярных и эффективных алгоритмов для поиска пути, разработанный П. Хартом, Н. Нильсоном и Б. Рафаэлем в 1968 году, использует эвристическую функцию для оценки стоимости пути от начальной точки до цели [4].

Алгоритм отдаёт приоритет путям, которые ведут ближе к цели, использует модель поиска «лучший первый» в сочетании с эвристической функцией, отраженной в формуле (1):

$$F(x) = G(x) + H(x), \quad (1)$$

где $G(x)$ – путь от стартовой точки до конечной;

$H(x)$ – эвристическая функция, оценивающая расстояние до финишной на каждом шаге.

Преимущества алгоритма заключаются в гарантированной оптимальности и относительно низкой временной сложности. Широко используется в простых и сложных графах для поиска путей, при этом становится более ресурсоёмким.

Алгоритм Дейкстры, изобретенный нидерландским ученым Э. Дейкстрой в 1959 году, находит кратчайшее расстояние от одной из вершин графа до всех остальных или до заданной конечной [4].

Он всегда выбирает наименьшую стоимость пути du на каждом шаге и расширяет исследуемую область по формуле (2):

$$du = \min(du, dv + w), \quad (2)$$

где dv – оценка кратчайшего расстояния от начальной вершины до v ;
 w – вес ребра между вершинами u и v .

Он обеспечивает оптимальный путь, если граф не содержит отрицательных весов. Хорошо подходит для поиска кратчайшего пути в графах без заранее известной цели, однако менее эффективен, чем A^* , если требуется найти путь только до одной цели, так как алгоритм вычисляет пути до всех точек.

Волновой алгоритм Ли, предложенный Э. Ф. Муром в 1961 году, используется для поиска кратчайшего пути с равными затратами на переход между клетками. Алгоритм начинается с исходной точки и «распространяет волну» на соседние клетки, постепенно заполняя все возможные клетки. Процесс выполняется до тех пор, пока не будет достигнута целевая точка, после чего путь восстанавливается, следуя от цели к началу.

Для каждой свободной ячейки $C_{i,j}$ можно описать заполнение волной, используя формулу (3):

$$D_{i,j} = \min(D_{i,j}, D_{u,v} + 1), \quad (3)$$

где $D_{i,j}$ – расстояние от стартовой ячейки до $C_{i,j}$;
 u, v – координаты текущей ячейки волны, сосед которой проверяется.

Алгоритм прост в реализации, гарантирует нахождение кратчайшего пути в равномерных пространствах. Является эффективным для небольших карт и регулярных пространств, при этом требует значительных ресурсов на больших участках и не использует эвристики для ускорения поиска, что снижает его производительность на больших картах.

Волновой алгоритм может работать во всех типах дискретных пространств, где возможно задать сетку с соседними ячейками, благодаря чему его применяют не только в задачах поиска пути на картах, но и в маршрутизации электрических цепей, планировании движения роботов, а также в других областях, где требуется учитывать геометрию среды и оптимальность маршрута.

На основании данных, полученных выше, выделим ключевые характеристики алгоритмов А*, Дейкстры и волнового Ли, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ алгоритмов поиска пути

Алгоритм	Время выполнения	Память
А*	$O(b^d)$ (в худшем случае) или быстрее при хорошей эвристике	Требует много памяти (хранение открытых и закрытых узлов)
Дейкстры	$O(V^2 + E)$, пропорционально количеству вершин (наивная реализация).	Среднее использование памяти, зависит от структуры графа
Волновой алгоритм Ли	$O(n * m)$, пропорционально количеству клеток	Экономит память, зависит от размера карты

На основании проведённого сравнительного анализ алгоритмов поиска пути можно сделать вывод, что для задач расстановки оборудования на фиксированной карте помещения наиболее оптимальным является волновой алгоритм.

Несмотря на высокую эффективность А* при наличии эвристики и универсальность алгоритма Дейкстры для взвешенных графов, волновой алгоритм лучше соответствует специфике фиксированной сетки помещения по следующим причинам:

- алгоритм не требует эвристических функций, и его производительность прямо определяется размерами карты;
- обеспечивает нахождение кратчайшего пути (доступных позиций) на равномерной сетке, что критично для точного размещения оборудования;
- является эффективным при стандартных размерах помещений, что снижает требования к ресурсам.

Полученные результаты сравнительного анализ показывают, что волновой алгоритм обеспечивает системный, воспроизводимый и контролируемый подход к организации производственного пространства. Он позволяет учитывать ограничения и требования, делая процесс расстановки оборудования доступным, быстрым и безошибочным.

Список литературы

1. Ермаков, А. И. Пути повышения эффективности современного инновационного производства / А. И. Ермаков, Л. А. Чемпинский // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. – 2009. – № 3-2(19). – С. 35-39. – EDN LLWOTH.
2. Кононова, В. Ю. Модернизация производственных систем на российских промышленных предприятиях: современное состояние и перспективы / В. Ю. Кононова // Российский журнал менеджмента. – 2006. – Т. 4, № 4. – С. 119-132. – EDN HVRMAT.
3. Бойцова, В. И. Организация рабочих мест, их обслуживания и условий труда на предприятиях машиностроения : учебное пособие / В. И. Бойцова, Д. С. Голованов // Минобрнауки России, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Рыбинский гос. авиационный технический ун-т им. П. А. Соловьева». – Рыбинск : РГАТУ, 2012. – 106 с. – ISBN 978-5-88435-438-8. – EDN QVHLKJ.
4. Султанова, А. Б. Сравнительный анализ алгоритмов поиска оптимального пути / А. Б. Султанова // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6, № 12. – С. 248-255. – DOI 10.33619/2414-2948/61/25. – EDN CGYQXZ.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СЕ- РОВОДОРОДА

Степанов А.Д., Симонова А.В., Пояркова Е.В., д-р техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе представлен обзор современных электрохимических методов обезвреживания сероводорода, применяемых для обработки водных сред различного происхождения, включая сточные, природные и попутные воды нефтедобычи. Акцентируется внимание на высокой коррозионной активности и токсичности H_2S , обуславливающих актуальность разработки эффективных технологий десульфуризации. Систематизированы основные методы электрохимической очистки, а также определены ключевые факторы, влияющие на эффективность их применения. В частности, установлено, что в электрокоагуляции определяющим фактором является процесс растворения электродов на основе железа или алюминия. Для прямого электролиза ключевыми являются реакции анодного окисления HS^- с образованием элементарной серы или сульфат-ионов. Подчеркнута роль электроокисления, основанного на генерации активных окислителей (гипохлорит, озон, пероксид водорода) и их последующем взаимодействии с H_2S .

Ключевые слова: сероводород, электрокоагуляция, электролиз, электроокисление, сточные воды, электрохимическая очистка.

Сероводород (H_2S) представляет собой распространенный компонент попутных вод, сопутствующий добыче и переработке углеводородного сырья. Присутствие H_2S обуславливает интенсивную коррозию трубопроводных систем и оборудования нефтехимических предприятий, что приводит к снижению их эксплуатационной надежности и увеличению затрат на обслуживание. Выбросы сероводорода в атмосферу, образующиеся в процессе переработки сырья на промышленных производствах, оказывают существенное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. Предельно допустимая максимальная разовая концентрация (ПДМРК) сероводорода в атмосферном воздухе населенных мест составляет $0,008 \text{ мг/м}^3$ [1, 2], что подчеркивает высокую степень его токсичности даже при малых концентрациях. Основными источниками антропогенных выбросов H_2S в атмосферу являются промышленные предприятия, специализирующиеся на производстве вискозного волокна и целлюлозы, а также предприятия химической и нефтехимической промышленности, включая очистные сооружения, используемые для обработки промышленных стоков и газовых

выбросов. Утилизация сероводорода является важной экологической и экономической задачей, решение которой требует разработки и внедрения эффективных технологий очистки и переработки.

Электрохимические методы очистки сероводорода являются современными и эффективными решениями для удаления сероводорода из различных сред, включая сточные и природные вод и промышленных газов. Эти методы основаны на использовании электрического тока для инициирования химических реакций, которые преобразуют сероводород в менее опасные соединения или полностью удаляют его. Растворяясь в воде, сероводород диссоциирует в два этапа по следующей схеме [3]:



Растворимость сероводорода в водных растворах является pH-зависимым параметром, что обусловлено диссоциацией H_2S и образованием ионов HS^- и S^{2-} . В щелочных средах ($\text{pH} > 10$) преимущественно присутствует анион S^{2-} , в то время как в кислой среде доминирует молекулярный H_2S . В нейтральных или слабощелочных условиях наблюдается равновесие между H_2S и HS^- . Данный факт необходимо учитывать при выборе оптимальных методов очистки, поскольку ионные и молекулярные формы сероводорода могут по-разному реагировать с различными реагентами или на поверхности электродов.

Основные электрохимические методы очистки водных растворов, содержащих сероводород, можно разделить на следующие категории [4]:

- электрокоагуляция;
- прямой электролиз;
- электроокисление.

Метод очистки воды от растворенного сероводорода, основанный на воздействии постоянного электрического поля, носит название электрокоагуляции (ЭК). В процессе ЭК используются растворимые электроды, как правило, изготовленные из железа или алюминия. Под действием электрического тока происходит электрохимическое растворение анода с высвобождением в раствор ионов металлов ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ или Al^{3+}). Эти ионы образуют нерастворимые гидроксиды и сульфиды, которые, действуя как коагулянты, связывают сероводород, а также другие загрязнители, образуя хлопья, легко удаляемые механическими методами, такими как отстаивание или фильтрация [5].

Механизм коагуляции основан на нейтрализации поверхностного заряда коллоидных частиц загрязнителей и образовании мостиковых связей между ними посредством гидроксидов металлов. Данный метод эффективно применяется для очистки сточных вод от сероводорода, органических соединений, нефтепродуктов и тяжелых металлов, а также для осветления воды и снижения ее цвет-

ности. ЭК обладает высокой эффективностью и позволяет дополнительно обеззараживать воду без использования дополнительных химических реагентов, что снижает экологическую нагрузку. Однако, к недостаткам метода следует отнести относительно высокие затраты на электроэнергию, необходимость в периодической замене быстро изнашивающихся электродов и образование трудноутилизируемых отходов (шлама), требующих специальных методов обработки и захоронения. Технологическая схема электрокоагуляции представлена на рисунке 1 [6]. Пример типичной электрохимической ячейки, используемой в электрохимических методах обезвреживания сероводорода, представлен на рисунке 2.

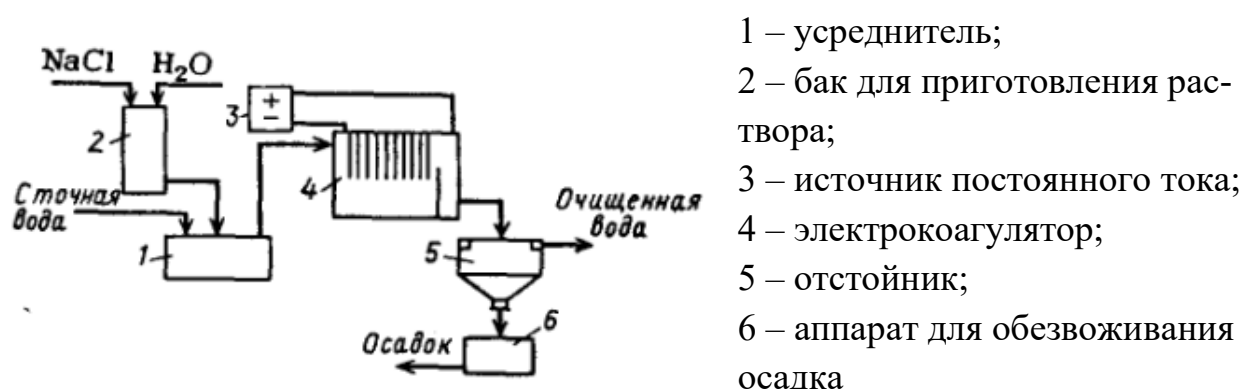


Рисунок 1 – Принципиальная схема электрокоагуляционной установки для очистки сточных вод

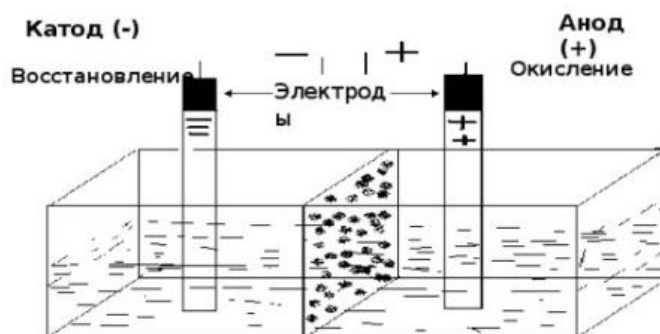
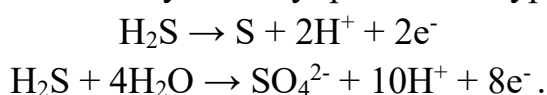


Рисунок 2 – Пример типичной электрохимической ячейки, используемой в электрохимических методах обезвреживания сероводорода

В электрохимической ячейке сероводород подвергается электрохимическому разложению, включающему реакции анодного окисления и, в зависимости от условий, катодного восстановления. Анодное окисление сероводорода может приводить к образованию различных продуктов, таких как элементарная сера (S) или сульфаты (SO_4^{2-}), согласно следующим упрощенным уравнениям:



В некоторых случаях при высоких концентрациях сероводорода и определенных условиях электролиза возможно образование газообразных продуктов, таких как кислород (O_2) в анодном пространстве и водород (H_2) в катодном. Метод прямого электрохимического окисления сероводорода на поверхности анода с преобразованием его в элементарную серу или сульфаты находит применение для очистки сточных вод с высоким содержанием сероводорода, например, в нефтеперерабатывающей промышленности, а также в газовой отрасли. Преимущества и недостатки метода представлены в таблице 1. Однако, стоит отметить, что в определенных условиях возможно образование побочных продуктов, таких как полиитионаты, требующие дополнительной оценки.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки метода прямого электрохимического окисления сероводорода

Преимущества	Потенциально глубокая очистка	Возможность окисления H_2S до стабильных и менее токсичных продуктов (сульфаты), обеспечивающая высокую степень удаления
	Минимизация вторичного загрязнения	Ограниченное использование дополнительных реагентов, снижающее риск вторичного загрязнения. Основные продукты – сера или сульфаты, подлежащие утилизации или удалению
Недостатки	Высокие энергетические затраты	Необходимость значительных затрат электроэнергии, зависящих от материала электрода, плотности тока, концентрации H_2S и состава электролита. Вместе с тем, требуется оптимизация параметров
	Необходимость использования каталитически активных электродов	Для повышения скорости реакции необходимо использование электродов из каталитически активных материалов (благородные металлы, оксиды металлов, модифицированный углерод). При этом выбор материала требует тщательного исследования
	Возможная пассивация электродов	Образование оксидных пленок или отложение серы на поверхности электродов может приводить к снижению их активности. Требуется методы предотвращения пассивации

Для очистки сероводородсодержащих вод, таких как карьерные воды или природные водоемы, может применяться электролиз с использованием растворимых анодов, в частности, электродов на основе железа или алюминия. В процессе электролиза происходит электрохимическое растворение анода с высвобождением в раствор ионов железа (Fe^{2+}/Fe^{3+}) или алюминия (Al^{3+}). Эти ионы,

обладая высокой химической активностью, вступают в реакции с растворенным сероводородом (H_2S , HS^- , S^{2-}), образуя нерастворимые сульфиды металлов (FeS , Fe_2S_3 , Al_2S_3) и гидроксиды, которые коагулируют и выпадают в осадок, способствуя тем самым удалению сероводорода из водной среды. Данный метод обладает рядом преимуществ, в том числе потенциально высокой эффективностью очистки и возможностью обработки больших объемов воды *in situ*, что делает его перспективным для применения в условиях открытых водоемов.

Кроме того, в результате очистки улучшаются экологические показатели воды, в частности, снижается концентрация сероводорода и уменьшается его негативное воздействие на водную экосистему. Однако, одним из недостатков метода является необходимость регулярного обслуживания электродов, включая их замену или очистку от образующихся отложений, для поддержания стабильной и эффективной работы электрохимической системы. Также важным аспектом является необходимость контроля pH среды, так как растворимость сульфидов металлов зависит от кислотности воды.

Электролиз водных растворов электролитов включает в себя пропускание электрического тока через водную среду, что приводит к электрохимическим реакциям на электродах. В результате этих реакций образуются активные окислители, такие как гипохлорит натрия (NaClO), озон (O_3) или пероксид водорода (H_2O_2), а также может происходить генерация гидроксильных радикалов ($\bullet\text{OH}$), обладающих высокой окислительной способностью. Эти электрогенерированные окислители участвуют в окислении сероводорода (H_2S) до элементарной серы (S) или сульфатов (SO_4^{2-}), тем самым реализуя электрохимическое окисление сероводорода.

Электроокисление сероводорода с использованием электро-генерированных окислителей может применяться для различных целей, включая:

- обеззараживание питьевой воды;
- очистку сточных вод от сероводорода и других загрязнителей;
- очистку природного газа от сероводорода в производственных про-

цессах нефтеперерабатывающих предприятий [7]. В данном случае электролиз может быть интегрирован в схему очистки газа, где щелочь, полученная в результате электролиза, используется для поглощения H_2S , а кислота, также полученная при электролизе, применяется для регенерации абсорбента, что позволяет снизить расход реагентов и минимизировать образование отходов.

Итоговое сравнение методов электрохимического обезвреживания сероводорода представлено в таблице 2.

Проведенный анализ демонстрирует, что электрохимические методы обезвреживания сероводорода представляют собой перспективные и технологически разнообразные решения для широкого спектра промышленных и экологических

задач [8]. Эффективность и применимость каждого метода определяются комплексом факторов, включая тип и концентрацию загрязнителей, требуемую степень очистки, а также технико-экономические параметры процесса.

Таблица 2 – Сравнительный анализ методов электрохимического обезвреживания сероводорода

Метод	Принцип действия	Области применения	Преимущества	Недостатки
Электрокоагуляция	Растворение электродов → образование гидроксидов/сульфидов металлов → связывание H_2S	Очистка сточных вод от H_2S и других загрязнителей, осветление воды, снижение цветности	Эффективное удаление широкого спектра загрязнителей, дополнительное обеззараживание, отсутствие необходимости в реагентах	Высокие энергозатраты, износ электродов, образование шлама (требуется утилизации), необходимость предварительной подготовки воды (регулирование pH)
Прямой электролиз	Электрохимическое окисление H_2S на аноде → образование S или SO_4	Очистка сточных вод с высокими концентрациями H_2S , извлечение серы из H_2S -содержащих газов	Глубокая очистка, отсутствие вторичных загрязнений, возможность извлечения элементарной серы как ценного продукта	Высокие энергозатраты, необходимость катализаторов для снижения перенапряжения, зависимость эффективности от концентрации H_2S .
Электроокисление	Генерация активных окислителей при электролизе → окисление H_2S до S или SO_4	Обеззараживание питьевой воды, очистка сточных вод от H_2S и органических веществ, очистка природного газа от H_2S	Возможность использования для дезинфекции, применение в проточных системах, сравнительно низкие капитальные затраты	Требуется контроль pH, образование токсичных побочных продуктов

Дальнейшее развитие электрохимических технологий очистки воды от сероводорода должно быть направлено на повышение энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и минимизацию образования побочных продуктов. Успешная реализация этих направлений позволит расширить область применения электрохимических методов и сделать их конкурентоспособными альтернативами традиционным технологиям очистки, способствуя решению актуальных задач в области охраны окружающей среды и промышленной безопасности. Дальнейшие исследования в области разработки новых электрокаталитических материалов и оптимизации электрохимических процессов являются ключевыми для достижения поставленных целей и широкого внедрения данных технологий в практику. Выбор конкретного метода зависит от типа и концентрации загрязнений, требуемой степени очистки и экономических соображений.

Список литературы

1 Молчатский, С. Л. Эколого-аналитический контроль состояния окружающей среды : Учебное пособие / С. Л. Молчатский, Е. Г. Нелюбина. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 166 с.

2 Технология очистки природных сероводородных вод / А. Ю. Черкесов, С. И. Игнатенко, С. А. Щукин [и др.]// Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : Сборник статей 80-ой Юбилейной ВНТК, Самара, 17–22 апреля 2023 года / Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. – Самара: СГТУ, 2023. – С. 422-432.

3 Норина, Н. В. Разработка методов и технических средств нейтрализации серосодержащих соединений в атмосфере калийных рудников / Н. В. Норина, А. Г. Исаевич // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 550-557.

4 Окислительное обессеривание углеводородного сырья (обзор) / А. В. Акопян, Р. А. Федоров, Б. В. Андреев [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, № 4. – С. 457-471.

5 Shamsiev, Sh. D. Technology of sulfuretted hydrogen neutralization in acid water of the unitary subsidiary enterprise "Mubarek gas processing plant" / Sh. D. Shamsiev, F. M. Yusupov, V. P. L. Guru // Новые материалы и перспективные технологии : Сборник материалов Пятого междисциплинарного научного форума с международным участием, Москва, 30 октября 2019 года. Vol. II. – Москва: Интеллектуальные системы, 2019. – Р. 536-538.

6 Сосновская, Н.Г. Экологические проблемы электрохимических производств. Учебное пособие. / С. Л. Молчатский, – Ангарск: АГТА, 2007. – 95с.

7 Совершенствование физических методов удаления сероводорода из нефти / Р. З. Сахабутдинов, А. А. Ануфриев, А. Н. Шаталов [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 3(56). – С. 39-41.

8 Галлямова, Э. И. К вопросу обеспечения промышленной безопасности установок подготовки нефти с содержанием сероводорода / Э. И. Галлямова, Р. Х. Идрисов, Н. Х. Абдрахманов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023. – № 2. – С. 6-18.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ МАРТЕНСИТНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ 13X12H2B2MФ (ЭИ 961)

Голенковская К.С., И.Ш. Тавтилов, канд. техн. наук, доцент, Тишина О.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье подробно рассматриваются оптимальные температурные режимы, которые способствуют улучшению механических свойств мартенситной жаропрочной стали. Основные характеристики, такие как прочность, твердость, жидкотекучесть, предельное удлинение, ударная вязкость, являются критически важными для применения этого типа стали в различных отраслях, включая авиационную и космическую.

Ключевые слова: термическая обработка, режимы закалка, низкий отпуск, высокий отпуск.

Процесс выплавки стали осуществляется в открытых дуговых электропечах, что позволяет достигать высокой чистоты металла и контролировать его состав. Также применяются современные методы, такие как электрошлаковый и вакуумный дуговой переплав, которые обеспечивают дополнительную степень очистки и однородности микроструктуры [1, 2].

Мартенситная нержавеющая сталь 13X11H2B2MФ (ЭИ 961) с типичным химическим составом, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав 13X11H2B2MФ, [ГОСТ 5632-72](#) (% , по массе)

Химический элемент	C	Cr	Ni	W	Mo	V	Si	Mn	S	P
Содержание, %	0,1-0,16	10,5-12	1,5-1,8	1,6-2	0,35-0,5	0,18-0,3	до 0,6	до 0,6	до 0,03	до 0,03

Температураковки, установленная на уровне 1180 °С, обеспечивает необходимую пластичность для улучшения технологических свойств (обрабатываемость давлением, резанием и др.) и формуемость материала. Послековки сталь охлаждается на воздухе, что способствует формированию мартенситной структуры.

Однако, для оптимизации механических свойств рекомендуется проводить термообработку. В частности, закалка при температуре 1000 °С с последующим охлаждением на воздухе или в масле для придания заготовки комплекса механических, физических, химических свойств, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики изделия.

Закалка обычно проводится при высоких температурах, выше температуры A_{C3} [2], с целью растворить большинство карбидов $(Fe, Cr)_{23}C_6$ и карбидов MeC и получить полную аустенитную микроструктуру [6]. После охлаждения на воздухе до комнатной температуры микроструктура становится полностью мартенситной с высокой плотностью дислокаций [7].

Характерной особенностью мартенситных жаростойких сталей является небольшая критическая скорость закалки, что приводит к закаливанию на мартенсит при охлаждении на воздухе. Характер изотермического превращения указывает на высокую устойчивость аустенита.

При нагреве жаропрочных сталей мартенситного класса происходит превращение $\alpha \rightarrow \gamma$, которое соответствует критическим точкам A_{C1} и A_{C3} . На положение критических точек оказывает существенное влияние содержание углерода и легирующих элементов. Доказано [3-5], что ванадий, молибден и вольфрам повышает критические точки A_{C1} и A_{C3} , а никель и кобальт снижают их.

Для большинства мартенситных сложнолегированных сталей температуры, соответствующие точки A_{C1} , колеблются в пределах 800-900 °С, для точки A_{C3} – в пределах 860-1000 °С. При этом уменьшение содержания хрома в сложнолегированной стали приводит к снижению критических точек на 30-50 °С, поэтому такая сталь закаливается в масле или на воздухе при температуре 950-1000 °С.

Таблица 2 – Механические свойства стали 13X11H2B2MФ (ЭИ 961), при 20 °С [1]

Сталь	Режим термообработки				Характеристики механических свойств				
	Температура закали, °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска °С	Охлаждающая среда	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, кДж/см ²
13X11H2B2MФ прутки	1000	масло	620-680	воздух	900	750	15	55	1000
13X11H2B2MФ прутки	1000	воздух, масло	550-600	воздух	1200	1000	12	50	700
13X11H2B2MФ поковка	1000	масло	580-670	воздух	950	850	10	50	600

По данным фазового анализа [6-7], основная составляющая карбидной фазы в мартенситных сталях относится к типу $(Fe, Cr)_{23}C_6$ и может быть описана формулой $(Cr, Fe, Mo, W)_{23}C_6$. В сталях с ниобием и ванадием, присутствуют также карбиды MeC (NbC , VC) [2].

Растворение карбидов типа $(\text{Fe}, \text{Cr})_{23}\text{C}_6$ происходит в интервале температур от $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а карбидов типа MeC – при более высокой температуре. В связи с этим при закалке с температурой $A_{C3} + 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в структуре стали остается большое количество карбидов, такая термообработка мало эффективна. Поэтому закалка как правило, производится с температур, значительно превышающих точку A_{C3} , а именно с $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее повышение температуры закалки приводит к резкому увеличению количества избыточного феррита. Образование дополнительного количества δ -феррита приводит к снижению кривых твердости при температуре закалки $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

Кроме того, важно учитывать режим отпуска. Низкий отпуск при 550°C - $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ способствует уменьшению внутренних напряжений и повышению ударной вязкости, тогда как высокий отпуск в диапазоне $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет добиться улучшенной твердости при сохранении достаточной пластичности.

Нагрев при температуре ниже точки A_{C1} жаропрочной стали мартенситного класса приводит к распаду мартенсита с образованием промежуточных структур – троостита или сорбита. Сорбит часто сохраняет ориентацию по мартенситу.

Сложное легирование стали 13X11H2B2MФ (ЭИ 961) затормаживает резкое уменьшение твердости механических свойств при отпуске в интервале температур $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с этим стали после отпуска при температуре $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше сохраняют большую твердость. Особенно стабилизирует твердость стали этого типа при отпуске это ванадий.

Одновременно с распадом мартенсита происходит выделение карбидов из твердого раствора. Результаты фазового анализа показывают, что количество карбидной фазы в сталях рассматриваемого типа после обычного отпуска составляет 2% - 3% (против $0,3\%$ - $0,5\%$ после закалки).

Дополнительный нагрев при температуре отпуска или даже при более низкой температуре вызывает продолжение взаимодействия между карбидной фазой и основной структурой в течении весьма продолжительного времени.

Таким образом, твердый раствор жаропрочной стали упрочняется за счет хрома, молибдена и вольфрама $(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Mo}, \text{W})_{23}\text{C}_6$, который содержится в стали в значительном количестве, этим и объясняется ее повышенная жаропрочность.

Зависимость механических свойств жаропрочной стали от температуры отпуска схематично представлена на рисунке 1.

Пределы прочности и упругости (рисунок 1 а, б) сохраняют свои значения вплоть до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, наблюдается незначительное снижение прочности в интервале температур $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, сменяющееся незначительным упрочнением. При температуре отпуска $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше происходит резкое падение свойств прочности стали.

Изменение пластических свойств показано на рисунке 1 в, г. Удлинение после отпуска при температуре выше 300 °С непрерывно увеличивается, а ударная вязкость после заметного подъема при 250 °С образует резко выраженный минимум при температуре 450 °С - 500 °С, совпадающий с интервалом «вторичного упрочнения».

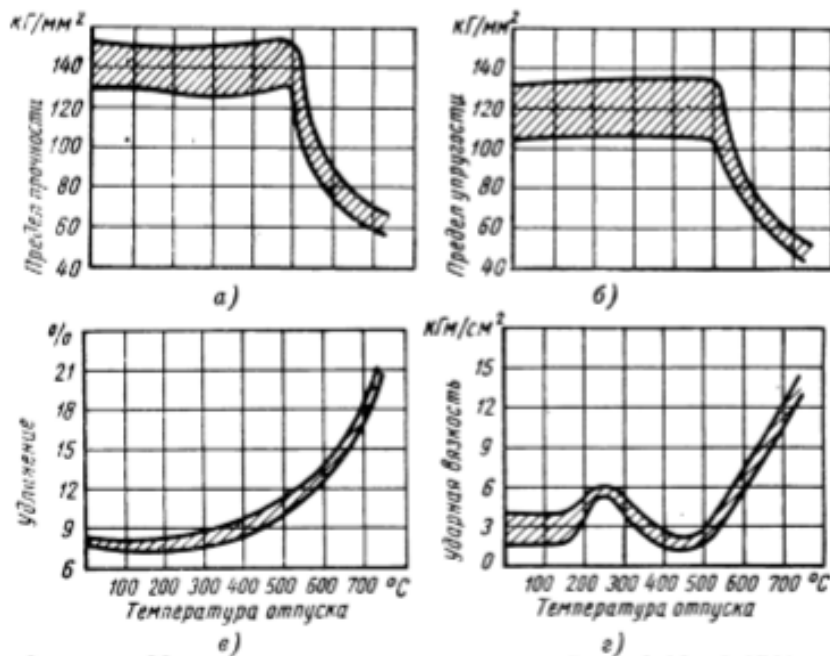


Рисунок 1 – Механические свойства мартенситной стали после закалки (1000 °С) и отпуска при различных температурах

Варьируя температуру отпуска жаропрочной мартенситной стали, можно получить разные градации свойств прочности и пластичности. При дополнительном легировании стали вольфрамом, молибденом, ванадием, укладываются в полосы разброса механических свойств. Таким образом, эти кривые справедливы и для стали 13X11H2B2MФ (ЭИ 961), однако у сложнолегированных сталей тенденция ко вторичному упрочнению в ряде случаев выражается более резко.

Для жаропрочных сталей практическое значение имеет отпуск при температуре 600 °С - 730 °С. Повышение температуры 10-ти часового отпуска с 600 °С до 700 °С приводит к снижению предела прочности со 102 до 82 кГ/мм² и предела текучести со 90 до 70 кГ/мм². Твердость при этом понижается с 300 до 240 НВ.

Результаты отпуска наряду с температурой в большей степени зависит от времени выдержки, которая для хромистой стали чаще всего составляет 2-4 часа. Однако для сложнолегированной бывает не достаточной.

Термическая обработка (отпуск с предварительной нормализацией или без нее), приводящая к наибольшей прочности при комнатной температуре ($\sigma_b=65-120$ кГ/мм²), остается эффективной и при повышенных температурах, вплоть до

500 °С - 600 °С. Большая прочность стали отпущенной при 650 °С, сохраняется при всех температурах испытания, не превышающие температуру отпуска.

Влияние температуры отпуска для длительную прочность мартенситных сталей такое же, как и на кратковременную. Повышение температуры отпуска с 650 °С до 720 °С (после закалки с температурой 1150 °С) практически не уменьшает времени до разрыва при данном напряжении при температуре 565 °С.

Отсюда можно сделать вывод у мартенситных жаропрочных сталей более высокие механические свойства сохраняются в условиях длительной службы лишь в том случае, если эти свойства были получены в результате закалки, а не отпуска.

Интересные данные получены методом релаксации. При повышении температуры отпуска с 650 °С до 700 °С релаксация напряжений в стали замедляется и величина напряжения при температуре 550 °С - 600 °С возрастает (рисунок 2).

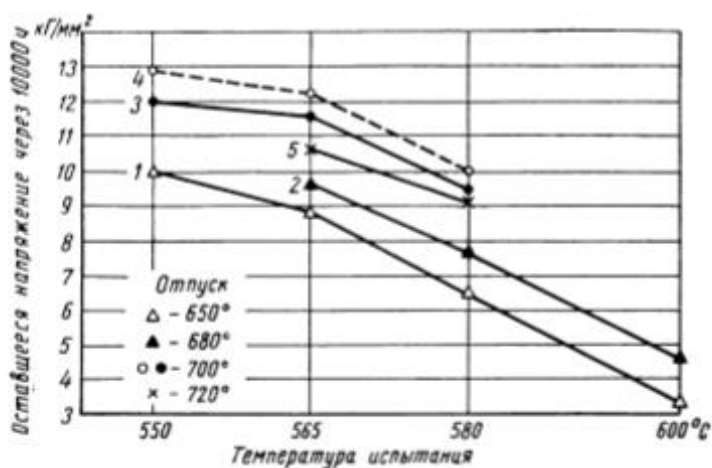


Рисунок 2 – Влияние температуры отпуска на релаксационную стойкость при различных температурах (сплошная линия – начальное напряжение $\sigma=30$ кГ/мм²; прерывистая линия – начальное напряжение $\sigma=35$ кГ/мм²)

Эффективность высокого отпуска жаропрочной стали, связана с более стабильным состоянием структуры после отпуска. В связи с этим в процессе испытаний на релаксацию и ползучесть выделения карбидов происходит значительно в меньшей степени, чем после отпуска при температуре 650 °С - 680 °С, когда в твердом растворе остается больше хрома, молибдена и вольфрама. существенное значение жаропрочной стали имеет сохранение механических и пластических свойств при длительных тепловых выдержках.

В соответствии с вышеизложенным самым оптимальным будет применять двухступенчатую термическую обработку – закалка с отпуском. Для закалки достаточно охлаждения на воздухе, а для крупных деталей лучше применять охлаждение в масле, чтобы обеспечить полное мартенситное превращение.

Правильный выбор температурных режимов термообработки является ключевым фактором для достижения оптимальных механических свойств мартенситной жаропрочной стали, что делает её более конкурентоспособной в современных промышленных условиях.

Список литературы

- 1 Масленников, С. Б. Жаропрочные стали и сплавы: Справочник / С.Б. Масленков. – М.: Металлургия, 1983. – 191 с.
- 2 Борздыка, А.М. Термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / А.М. Борздыка, В.З Цейтлин. – М.: Машиностроение, 1964. – 247 с.
- 3 Коломбье, Л. Нержавеющие и жаропрочные стали /Л. Коломбье, И. Гохман; Перевод с фр. А.М. Ладогина; Под ред. М.Л. Бернштейна и Н. Н. Кулешовой. – М.: Металлургиздат, 1958. – 479 с.
- 4 Кларк, К. Жаропрочные сплавы / К. Кларк; Под ред. Берштейна М.Л., пер. с англ. Гомолицкой Т.С. – М.: Металлургиздат, 1957. – 340 с.
- 5 Гордон, И.З. Влияние продолжительного отпуска на механические свойства стали / И.З. Гордон, А.П. Гуляев // Металлургия, 1959. – №1.
- 6 Мерлина, А.В. Стабильность структуры и свойства теплоустойчивых хромистых сталей / А.В. Мерлина, А.М. Борздыка // Сталь, 1959. – №2.
- 7 Силаев, А.Ф. Хромистые жаропрочные стали для энергомашиностроения /А.Ф. Силаев, Г.П. Федорцов-Лутиков, М.Ф. Шешенев. – М.: Металлургиздат, 1963. –184 с.

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛА

**Тишина О.А., Данилов А.А, Гайнуллин И.Ш., Колосок О.В., Колосок А. А.,
Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в статье рассматриваются такие детали, как валы, играющие важную, ключевую роль в машиностроительной отрасли, так как они непосредственно обеспечивают передачу вращательного момента, а также работу редукторов, двигателей, насосов, разнообразных станков и т.д. Вопрос повышения износостойкости валов в машиностроении также важен, так как применение разнообразных методов повышения износостойкости способствует повышению как долговечности самой детали, так и узлов и агрегатов. Ведь именно износ деталей (изменение их формы, состояния рабочей поверхности, размеров и т.д.) является одной из основных причин отказов машин.

Ключевые слова: вал, износостойкость, лазерная наплавка, луч, мощность лазера, диаметр пятна лазерного излучения.

Применение эффективных методов повышения износостойкости и снижения степени износа позволяет сократить или в полной мере предотвратить появление люфтов, технических зазоров, нарушения герметичности уплотнений и т.д., что, в свою очередь, позволяет обеспечить безотказную работу различных механизмов (оборудования).

Одним из современных и эффективных способов повышения износостойкости валов является лазерная наплавка, суть которой заключается в нанесении защитных и, что особо важно, функциональных покрытий на поверхность детали (вала) при помощи лазера.

То есть в случае использования такого метода повышения износостойкости вала, как лазерная наплавка, лазерным лучом создается определенная локальная поверхность расплава на детали. При этом через сопло подается присадочный материал (порошковый или проволоочный), который в ходе плавления и взаимодействия с подложкой образует достаточно прочный сплав.

Отличие лазерной наплавки от традиционных методов повышения износостойкости валов (цементация, азотирование, хромирование, индукционная закалка и др.) заключается в том, что в случае лазерной наплавки имеет место так называемая металлургическая связь между материалами (основным и наплавляемым).

Лазерная наплавка, как метод повышения износостойкости валов, позволяет:

- укрепить их рабочие поверхности, испытывающие значительные нагрузки (в том числе и трение);
- восстановить их посадочные размеры;
- существенно повысить прочность новых деталей и степень их износостойкости;
- минимизировать риск их повреждений и деформации и т.д.

Лазерная наплавка вала подразумевает под собой выполнение последовательности определенных этапов, указанных на рисунке 1 [1].



Рисунок 1 – Этапы лазерной наплавки

Рассмотрим каждый из этапов процесса лазерной наплавки валов более подробно.

Предварительно поверхность вала, которая изношена, подвергается определенной подготовке. В частности, она очищается от имеющихся загрязнений, а также окислов. Данный этап, подразумевающий подготовку поверхности изношенного вала, необходим, в первую очередь, для того, чтобы в полной мере обеспечить сцепление поверхности со слоем наносимого материала.

Предварительная подготовка детали в данном случае может быть реализована различными методами очистки (механическими, химическими и т.д.), в том числе и лазерной очисткой.

Следующий этап – этап непосредственного лазерного воздействия – заключается в том, что лазерный луч непосредственно фокусируется на поверхности изношенного вала. При этом энергия сфокусированного лазерного луча нагревает поверхность вала до температуры плавления материала, из которого

он изготовлен. Результатом данного этапа является создание так называемой «ванны расплава».

Наплавка подразумевает под собой непосредственное наплавление определенного порошка или же сплава, который подается на поверхность изношенной детали, находящейся в стадии плавления. Наплавляемый материал (порошок или сплав) при этом моментально плавится и вступает в контакт (то есть «сливается») с поверхностью вала, образуя тем самым новый защитный слой.

Этап контроля необходим для того, чтобы в полной мере обеспечить равномерность нанесения используемого материала на поверхность изношенного вала и достичь при этом требуемых (желаемых) геометрических параметров данной детали.

Последним этапом процесса лазерной наплавки является охлаждение. На данном этапе осуществляется постепенное охлаждение вала с нанесенным на его поверхность защитным слоем. Особое внимание при этом необходимо уделять постепенности процесса охлаждения, так как выполнение именно этого условия позволит в полной мере обеспечить равномерность и, что особенно важно, стабильность структуры нанесенного слоя материала.

Основные технологические параметры лазерной наплавки и их характеристика указаны в таблице 1 [2].

В целях реализации процесса лазерной наплавки вала могут быть использованы несколько видов специализированного оборудования, которые различаются между собой набором характеристик и технологических возможностей.

Так, выделяют следующие виды оборудования для лазерной наплавки:

- лазерные наплавочные системы – бывают как портативными, так и стационарными. Могут различаться по таким параметрам, как размер, мощность и т.д.;
- роботизированные системы – позволяют в полной мере автоматизировать весь процесс наплавки вала, а также повысить точность и качество данного процесса;
- системы для гибридной лазерной наплавки – позволяют получать более прочные и износостойкие покрытия валов и т.д.

Таблица 1 – Основные технологические параметры лазерной наплавки и их характеристика

Параметр	Характеристика

Мощность лазера	Определяет производительность лазерной установки, а также толщину покрытия материала (порошка или сплава), наносимого на поверхность изношенного вала. Чем больше величина данного показателя, тем быстрее осуществляется процесс наплавки. Особое внимание необходимо уделять на то, что слишком большая мощность лазера может привести к перегреву детали и к ее деформации
Скорость перемещения луча	Определяет скорость непосредственной наплавки, а также качество получаемой в результате напыления поверхности. Чем выше данный показатель, тем соответственно меньше времени требуется потратить на наплавку, но при этом страдает качество наносимого покрытия. Слишком высокая скорость перемещения луча может привести к появлению на поверхности вала различных неровностей, а также шероховатостей
Диаметр пятна лазерного излучения	Данный показатель определяет как площадь нагрева, так и площадь расплавления присадочного материала (порошка или сплава). Чем меньше данный показатель, тем более качественным получается покрытие. Диаметр пятна может быть уменьшен за счет увеличения мощности используемой лазерной установки
Тип и размер частиц наносимого материала	Оказывают непосредственное влияние на свойства и качество покрытия. Так, например, чем меньше частицы наносимого на поверхность вала порошка, тем равномернее и лучше сцепление материала с основой (то есть с поверхностью детали). Использование крупных по размеру частиц порошка может привести к образованию пор, а также трещин
Режимы работы установки	Используемые режимы определяют способ непосредственного воздействия лазерного излучения на присадочный материал. Например, импульсный режим обеспечивает получение покрытий с более высокой адгезией, непрерывный режим, в свою очередь, обеспечивает большую производительность, но при этом может вызвать определенные деформации покрытия

Особо важно отметить тот факт, что микроструктура материала вала после лазерной наплавки не остается такой же, как у исходного материала. В процессе лазерной наплавки в материале происходят фазовые превращения и диффузионные процессы, которые формируют многослойную микроструктуру в поверхностном слое. При этом структура основного металла обычно сохраняется, но в зоне наплавки создаются новые элементы микроструктуры [3].

Таким образом, лазерная наплавка – это технология нанесения материала (порошка или сплавов) на поверхность вала при помощи лазерного излучения. Луч расплавляет материал, который затем наносится непосредственно на поверхность изношенного вала, что позволяет создать прочное соединение между материалом данной детали (основным материалом) и наплавленным слоем.

Технология лазерной наплавки применяется в промышленности непосредственно для защиты деталей (в частности, валов) от износа, коррозии и других различных повреждений.

Список литературы

1 Болдырев, А.И. Технологические методы повышения качества изделий: учебное пособие / А.И. Болдырев, В.П. Смоленцев, В.В. Бородкин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 126 с.

2 Технология лазерной наплавки: учебное пособие / А.И. Мисюров, Б.М. Федоров, И.Н. Шиганов [и др.]; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 37 с. – ISBN 5-7038-2500-8.

3 Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти: Издательство ТГУ, 2015. – 335 с. – ISBN 978-5-8259-0820-5.

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ЦЕМЕНТУЕМОЙ ДЕТАЛИ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 18Х2Н4МА

Турушина О.А., Голенковская К.С.,
Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в рамках данной статьи проводится обзор оптимальных режимов термообработки оказывающих влияние на улучшения эксплуатационных характеристик детали из конструкционной легированной стали 18Х2Н4МА посредством газовой цементации, работающей на вибрационную нагрузку и трение. Обеспечить устойчивость от вибрации можно выполнением термической обработки, в то время как устойчивость от трения – повышением твердости поверхностного слоя с сохранением вязкости сердцевины.

Ключевые слова: закалка, легированные конструкционные стали, нормализация, отжиг, отпуск, обработка холодом

Конструкционная сталь 18Х2Н4МА относится к категории конструкционной легированной, используется для изготовления деталей машин, конструкций, сооружений, к которым предъявляются требования высокой прочности, ударной вязкости и износостойкости, а также для деталей, подвергающимся высоким вибрационным и динамическим нагрузкам. Сталь 18Х2Н4МА с типичным химическим составом представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав 18Х2Н4МА, ГОСТ 4543 – 71

Химический элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu
Содержание, %	0,14-0,2	0,17-0,37	0,25-0,55	4-4,4	до 0,03	до 0,03	1,35-1,65	0,3-0,4	до 0,06	до 0,3

В газовой цементации немаловажным фактором является режим подачи карбюризаторов. Различают обычный и ступенчатый режимы подачи карбюризаторов.

Достоинством обычного режима являются постоянная подача карбюризатора и оптимальный расход карбюризатора после достижения заданной температуры в печи.

Недостатком режима является трудность определения оптимального расхода карбюризатора из-за постоянно изменяющейся величины площади цементуемой поверхности и вида карбюризатора.

Достоинством ступенчатого режима является сокращение общей продолжительности процесса.

Цементация может проводиться как в печах постоянного, так же и периодического действия газообразным или жидким карбюризатором. Правильный подбор длительности первого и второго периода позволяет сократить время насыщения поверхностного слоя при газовой цементации в 1,5-2,0 раза по сравнению с обычными режимами с постоянной подачей карбюризатора.

Недостатком газовой цементации с регулируемой подачей карбюризатора является снижение прочностных характеристик поверхности детали обезуглероживания при снижении активности цементующей среды.

Исходя из проведенного анализа, целесообразно взять ступенчатый режим подачи карбюризатора, для получения заданной концентрации углерода в слое, но при более краткосрочной общей продолжительности процесса.

Выбор скорости цементации в зависимости от глубины цементованного слоя осуществляется согласно таблицы 2.

Таблица 2 – Скорость цементации

Глубина слоя, мм	Скорость (мм/ч) при температуре, °С				
	900	925	950	975	1000
До 0,5	0,45	0,55	0,75	–	0,95
0,5-1,0	0,30	0,40	0,55	0,75	0,75
1,0-1,5	0,20	0,30	0,40	0,55	0,55
1,5-2,0	0,15	0,20	0,25	0,35	0,40
2,0-2,5	0,12	0,15	0,20	0,25	–

Целесообразно взять температуру цементации 950 °С, так как при температуре, которая будет ниже 950 °С скорость цементации будет мала, что в свою очередь увеличит продолжительность процесса, чем при температуре 950 °С.

Температурный режим выше 950 °С приводит к увеличению скорости цементации, но из-за большего сгорания газа на материале будет оставаться много сажи.

Для газовой цементации в исследованиях используется шахтная электропечь сопротивления СШЦМ 6.12/9,5. В качестве вещества, используемого для насыщения детали углеродом, используется керосин ГОСТ 10227-86, по режиму: при расходе керосина 130 капель в мин, охлаждение в печи до температуры 800 °С с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры.

Время выдержки цементации выбирается согласно таблицы 3. Скорость цементации при 950 °С и при глубине цементованного слоя 1,25-1,65 мм будет составлять 0,2 мм/ч. Соответственно, время выдержки при цементации составляет 6-6,5 часов [4].

Таблица 3 – Глубина цементованного слоя в зависимости от температуры при различной выдержке

Температура, °С	Глубина цементованного слоя h, мм, при выдержке				
	1 ч	6 ч	10 ч	20 ч	30 ч
750	0,25	0,4	0,6	0,9	1,1
800	0,25	0,5	0,75	1,15	1,5
850	0,334	0,75	1,2	1,55	2,1
900	0,5	1,2	1,6	2,25	2,9
950	0,75	1,55	2,35	3,2	4
1000	1	2,3	3,25	4,4	

Термообработка стали 18Х2Н4МА включает в себя несколько ключевых этапов (рисунок 1), среди которых особое место занимает отжиг и нормализация. Эта сталь относится к группе легированных сталей, содержащих хром и никель, что обуславливает ее высокие эксплуатационные характеристики, такие как прочность и устойчивость к коррозии.

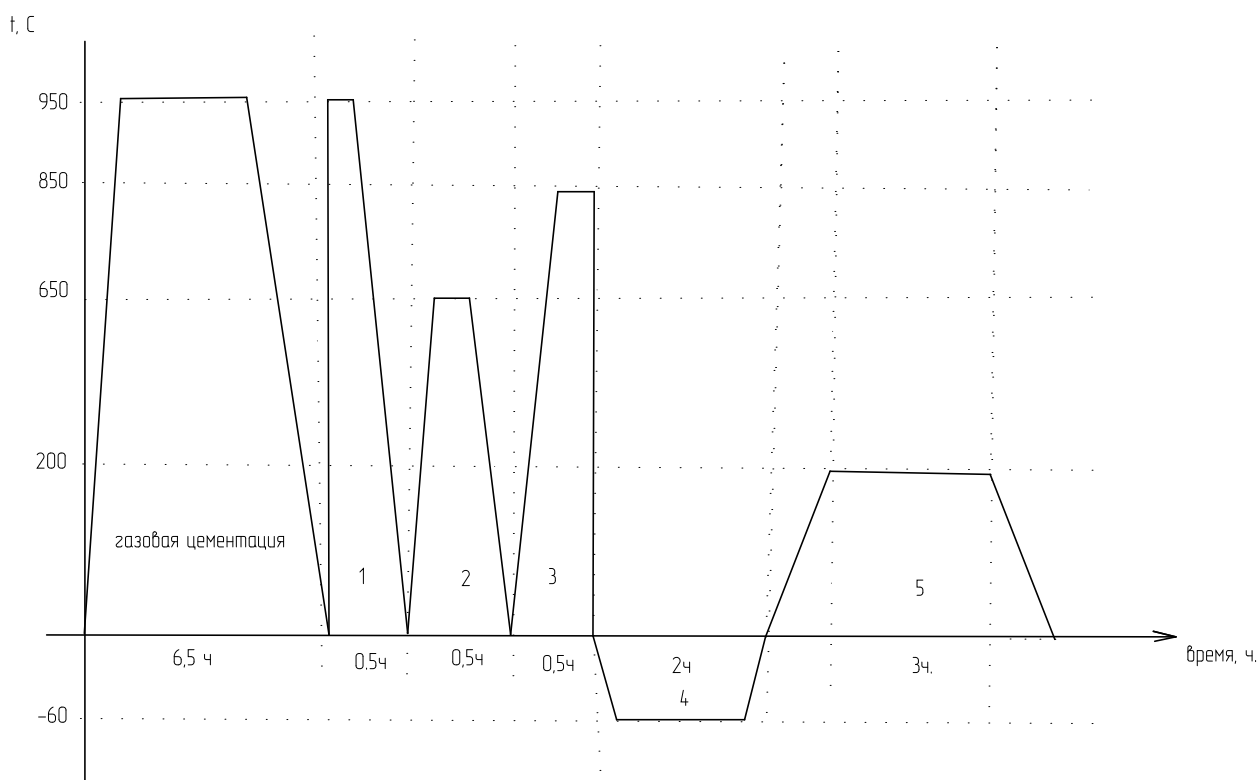
Первый этап термообработки – отжиг/нормализация. Рекомендуется нагрев до температуры 950 °С, что превышает линию A_{C1} . Такой температурный режим способствует полной аустенизации структуры стали. Выдержка в течение 30 минут при этой температуре обеспечивает равномерное распределение компонентов в стали. После выдержки следует охлаждение на воздухе, что позволяет получить более однородную структуру, уменьшая внутренние напряжения и увеличивая пластичность.

Второй этап – отжиг до температуры 650 °С для подготовки к закалке – позволяет осуществить полное аустенитное преобразование, что, в свою очередь, способствует устранению внутренних напряжений и равномерному распределению легирующих элементов. Выдержка в течение 30 минут необходима для равномерного прогрева всего объема заготовки.

Третий этап – закалка. Нагрев до температуры 860 °С, которая на 30 °С - 50 °С выше критической точки A_{R1} (825 °С), обеспечивает необходимую аустенизацию. Выдержка в 30 минут при данной температуре позволяет добиться желаемых свойств аустенита. Затем охлаждение в индустриальном масле, что обеспечивает быстрое снижение температуры и формирует мартенситную структуру, что, в свою очередь, увеличивает твердость стали.

После закалки выполняется обработка холодом при температуре -60°C . Эта процедура, проводимая в течение 2 часов, способствует улучшению механических свойств стали, таких как, прочность и износостойкость. Важно отметить, что выгрузка на воздух после обработки холодом позволяет избежать термического шока.

Заключительным этапом будет отпуск. Нагрев до температуры 200°C и выдержка в течение 3 часов позволяют снизить внутренние напряжения и улучшить пластичность, что делает материал более пригодным для эксплуатации. Окончательное охлаждение на воздухе завершает процесс термообработки, обеспечивая оптимальное сочетание твердости и вязкости.



1 — отжиг/нормализация; 2 — второй отжиг; 3 — закалка;
4 — обработка холодом; 5 — низкий отпуск.

Рисунок 1 — График ключевых этапов режимов термообработки легированной конструкционной стали 18X2H4MA

В последствии проводились механические испытания цементованных образцов из стали 18X2H4MA, подверженных предложенному режиму термообработки, по ГОСТ 1497-84 (образец типа III для испытания на растяжение) и

ГОСТ 9454-78 (образец типа U1 для испытания ударной вязкости). Твердость измерялась на детали на твердомере по методу Роквелла по ГОСТ 9013-59. Результаты исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытания механических свойств

Механические свойства	Деталь, выполненная методом газовой цементации
Твердость поверхности, HRC	58,5
Твердость сердцевины, HRC	40
Временное сопротивление σ_B , кгс/мм ²	141
Относительное удлинение δ , %	35
Относительное сужение ψ , %	20
Ударная вязкость KCU, кгс·м/см ²	10

Точное соблюдение режимов термообработки является важным условием улучшения эксплуатационных свойств цементованного изделия. Они обеспечивают необходимые характеристики стали для дальнейшей механической обработки и эксплуатации в условиях, требующих высокой прочности и твердости. Эффективность процесса термообработки, в свою очередь, обусловлена не только температурными параметрами, но и временем выдержки и режимами охлаждения. Качественная термообработка позволяет значительно повысить долговечность и надежность деталей из легированной конструкционной стали 18X2H4MA.

Список литературы

- 1 Шишкин, А. В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / А. В. Шишкин, В. С. Чередниченко, А. Н. Черепанов. – НМТУ: Новосибирск, 2004. – 447 с.
- 2 Гуляев, А. П. Металловедение: учеб. для вузов. / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 541 с.
- 3 Бургонова, О. Ю. Термическая обработка: учеб. пособие / О.Ю. Бургонова, В.В. Акимов. – Омск: ОмГТУ, 2016. – 114 с.
- 4 Самохоцкий, А. И. Технология термической обработки металлов / А. И. Самохоцкий, Н. Г. Парфеновская. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 311 с.

АЛГОРИТМЫ ПАРСИНГА АУДИОМЕТАДАНЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Топорков Н.М., Акиншин А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Кубанский государственный университет», г. Краснодар

Аннотация: статья посвящена разработке энергоэффективных алгоритмов ручного парсинга метаданных аудиофайлов (FLAC, MP3, WAV) для промышленных систем мониторинга. Представленные методы обеспечивают детерминированное извлечение технических и семантических данных без сторонних библиотек. Решения адаптированы для работы в embedded-системах и условиях промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: парсинг метаданных, аудиоанализ, цифровое производство, embedded-системы, энергоэффективные алгоритмы, обработка аудиосигналов, FLAC, MP3, WAV.

Современные промышленные предприятия активно внедряют технологии цифрового производства, включая системы предиктивной аналитики и мониторинга оборудования. Одним из перспективных направлений является акустический контроль состояния механизмов, позволяющий выявлять дефекты на ранних стадиях по изменению спектральных характеристик шума. Однако обработка аудиоданных в реальном времени на промышленных объектах требует высокоэффективных алгоритмов, способных работать в условиях ограниченных вычислительных ресурсов без потери точности.

Представленные в статье алгоритмы ручного парсинга метаданных аудиофайлов (FLAC, MP3, WAV) обеспечивают детерминированное извлечение критически важной информации, включая технические параметры сигнала (частоту дискретизации, битрейт) и семантические атрибуты (метки времени, идентификаторы оборудования). Это особенно актуально для промышленных систем аудиомониторинга, где необходимо оперативно анализировать большие объемы записанных данных без загрузки полного файла; интегрировать обработку звука в системы предиктивного обслуживания; обеспечивать надежную работу в условиях электромагнитных помех и экстремальных температур.

В условиях стремительного развития embedded-систем и IoT-устройств особую актуальность приобретают вопросы эффективной обработки аудиоданных в средах с ограниченными вычислительными ресурсами [1]. Представленное исследование посвящено разработке и анализу алгоритмов ручного парсинга ме-

таданных для трех ключевых аудиоформатов – FLAC, MP3 и WAV, которые демонстрируют универсальный подход к решению данной задачи. Актуальность работы подтверждается растущей потребностью в энергоэффективных решениях для портативных медиаустройств, промышленных систем аудиомониторинга и специализированного программного обеспечения, где традиционные библиотечные подходы оказываются неприменимыми из-за избыточного потребления ресурсов [2].

Разработка алгоритма извлечения метаданных выполнена в Лаборатории робототехники и мехатроники Кубанского государственного университета. Методологическая основа исследования базируется на принципах низкоуровневой обработки бинарных структур аудиофайлов без привлечения сторонних библиотек [3]. Для каждого из рассматриваемых форматов разработаны специализированные алгоритмы, сохраняющие при этом единую архитектурную концепцию. Первичная фаза обработки включает верификацию формата через анализ сигнатурных последовательностей («fLaC» для FLAC, «ID3» для MP3, «RIFF» для WAV), что обеспечивает надежную идентификацию типа файла. Последующий итеративный анализ структурных элементов (блоков в FLAC, фреймов в MP3, чанков в WAV) позволяет извлекать как технические параметры аудиопотока, так и семантические метаданные (рисунок 1).

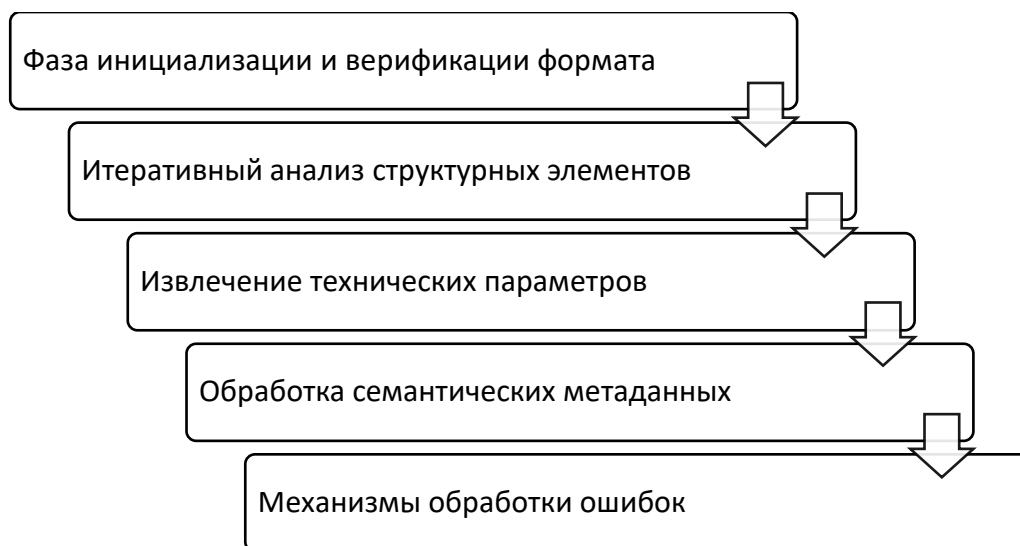


Рисунок 1 – Схема универсального алгоритма парсинга аудиофайлов

В ходе исследования детально проанализированы наиболее значимые структурные элементы трех популярных аудиоформатов, каждый из которых обладает уникальными особенностями организации метаданных. Для формата FLAC особый интерес представляет блок STREAMINFO, содержащий фундаментальные параметры аудиопотока. Этот 34-байтный блок организован как

компактная битовая карта, где 20-битное поле частоты дискретизации позволяет точно определять этот критически важный параметр в диапазоне от 1 Гц до 1 048 575 Гц. Особенностью интерпретации является необходимость учета big-endian порядка байт при чтении многобайтовых значений. Трехбитное поле количества каналов, несмотря на свою компактность, поддерживает конфигурации от 1 до 8 каналов благодаря формуле (значение + 1). Пятибитное поле разрядности семплов требует особой обработки, так как действительное значение вычисляется по формуле (значение + 1), что позволяет охватывать диапазон от 4 до 32 бит. Наиболее сложным для интерпретации является 36-битное поле общего количества семплов, занимающее 4,5 байта и требующее специальных битовых операций для корректного извлечения.

В формате MP3 ключевое значение имеет структура ID3v2-тегов, особенно механизм синхробезопасного кодирования размеров. Этот метод, реализованный через отбрасывание старшего бита в каждом байте, обеспечивает совместимость с устаревшими медиаплеерами, но требует специальных алгоритмов декодирования. Анализ показал, что 32-битное значение размера тега преобразуется по формуле $size = byte1 \times 0x200000 + byte2 \times 0x4000 + byte3 \times 0x80 + byte4$, где каждый байт содержит только 7 значащих бит. Особого внимания заслуживает структура фреймов MP3, где синхрослов 0xFFE (11 бит) служит не только маркером начала фрейма, но и содержит в последующих битах информацию о версии MPEG (2 бита), слое (2 бита) и битрейте (4 бита). Эти параметры организованы в виде lookup-таблиц, требующих точной интерпретации в зависимости от комбинации битов.

Для WAV-формата наиболее сложной для обработки оказалась структура чанка «LIST» с субчанком «INFO». Особенностью реализации является необходимость учета выравнивания (padding) для нечетных размеров чанков - после каждого нечетного по размеру чанка добавляется нулевой байт. При обработке текстовых метаданных (теги «INAM», «IART») алгоритм должен учитывать возможное наличие Unicode-символов, хотя большинство реализаций используют ASCII-кодировку. Технические параметры в чанке «fmt» организованы как последовательность 16-битных и 32-битных значений в little-endian формате, включая такие важные параметры как аудиоформат (2 байта), количество каналов (2 байта), частота дискретизации (4 байта) и средний байтрейт (4 байта).

Общим для всех трех форматов является необходимость строгой валидации контрольных сумм и размеров блоков. В FLAC это достигается проверкой фиксированного размера блока STREAMINFO (34 байта), в MP3 - верификацией синхрослов и табличных значений битрейта, в WAV - контролем соответствия заявленных и фактических размеров чанков. Особенностью реализации алгоритмов стало использование кольцевых буферов фиксированного размера (от 32 до

1024 байт в зависимости от формата), что позволило избежать динамического выделения памяти и обеспечить детерминированное поведение в реальном времени. Характеристики алгоритмов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ форматов

Характеристика	FLAC	MP3	WAV
Базовая структура	Блочная	Фреймовая	RIFF-чанки
Основные метаданные	VORBIS_COMMENT	ID3v1/v2	LIST-INFO
Технические параметры	STREAMINFO	MPEG-заголовки	fmt-чанк
Графика	PICTURE-блок	APIC-фрейм	Не стандартизовано

Важнейшим достижением представленных алгоритмов является их исключительная ресурсная эффективность, достигаемая за счет использования фиксированных буферов (от 10 байт для заголовков до 1 КБ для данных фреймов) и полного отказа от динамического выделения памяти. Одновременно обеспечивается высокая степень надежности благодаря комплексной системе валидации структурных элементов, контролю целостности данных и устойчивости к обработке поврежденных файлов. Функциональная полнота решений подтверждается поддержкой всех актуальных версий тегов (VORBIS_COMMENT для FLAC, ID3v1/v2 для MP3, LIST-INFO для WAV) и возможностью извлечения сопутствующих графических данных.

Алгоритмы ручного парсинга метаданных аудиофайлов представляют значительный интерес для современных low-level систем, где критически важны эффективность использования ресурсов и детерминированность выполнения. Перспективы применения данных алгоритмов обусловлены растущими требованиями к обработке медиаданных в условиях ограниченных вычислительных мощностей, характерных для embedded-систем и специализированных аппаратных решений.

Основной областью применения рассматриваемых алгоритмов являются встраиваемые системы реального времени, где традиционные библиотечные решения демонстрируют избыточное потребление ресурсов. В частности, порта-

тивные аудиоустройства нового поколения, включая профессиональные рекордеры и носимые гаджеты, требуют оптимизированных методов извлечения метаданных при минимальном энергопотреблении. Разработанные алгоритмы позволяют достичь потребления менее 1 мА при времени обработки порядка 10 мс, что соответствует требованиям современных аккумуляторных систем.

В промышленной автоматизации ручной парсинг метаданных находит применение в системах аудиомониторинга технологического оборудования. Способность алгоритмов работать с поврежденными файлами и частично считанными данными делает их незаменимыми для диагностических систем, анализирующих акустические характеристики работающих механизмов.

Перспективы развития представленных решений связаны с несколькими направлениями. Интеграция с технологиями TinyML открывает возможности для классификации аудиоконтента и голосового управления в реальном времени. Адаптация к новым стандартам, включая Bluetooth LE Audio (LC3) и RISC-V архитектуры, значительно расширит область применения. Технологический прогноз указывает на устойчивый рост рынка подобных решений, что обусловлено массовым переходом IoT-устройств на автономные медиасистемы и ужесточением требований к энергоэффективности.

Разработанные алгоритмы ручного парсинга устанавливают новый стандарт для обработки аудиометаданных в условиях ограниченных ресурсов. Их ключевые преимущества – автономность, надежность и функциональная полнота – делают их идеальным решением для широкого круга задач в области embedded-систем и специализированного программного обеспечения. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию энергопотребления и расширение функциональности через аппаратное ускорение и интеграцию с AI-алгоритмами.

Список литературы

1. Довгаль, В.А. Интернет Вещей: концепция, приложения и задачи / В.А. Довгаль, Д.В. Довгаль // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2018. – №1 (212). – С. 129-135.
2. Абдуллаев, У.М. Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов / У.М. Абдуллаев // Бюллетень науки и практики. – 2020. – №6. – С. 25-30.
3. Железняков, А.В. Обработка аудиоинформации с извлечением метаданных / А.В. Железняков, А.А. Воробьев, Д.Т. Стасенко // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. – 2025. – №1 (76). – С. 65-74.

ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИЕ АГРЕГАТЫ В СЕКТОРЕ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ФОНДОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Федченко Д.А., Овечкин М.В., канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в условиях изолированности и сложной инфраструктуры удалённых нефтедобывающих регионов России сектор малой энергетики становится критически важным элементом обеспечения автономного, надёжного и энергоэффективного электроснабжения. В статье рассматриваются основные типы электрогенерирующих агрегатов (ЭГА) – дизельные, газопоршневые и газотурбинные установки – их техническое состояние, области применения и экономические преимущества. Подробно описаны принципы и практическая значимость многопараметрического мониторинга, позволяющего на его основе проводить превентивное обслуживание агрегатов.

Ключевые слова: малая энергетика, электрогенерирующие агрегаты, нефтедобыча, SCADA-системы, техническая диагностика, превентивное обслуживание.

Малая энергетика – это совокупность энергетических установок малой и средней мощности (обычно до 30 МВт), предназначенных для локального производства электроэнергии. В отличие от централизованной генерации, малая энергетика ориентирована на децентрализованное электроснабжение, что особенно важно для нефтедобывающей отрасли, где объекты часто расположены в изолированных районах.

По данным института проблем энергетики РАН, доля малой энергетики в общем балансе энергопотребления России составляет около 15 % - 20 %, однако в нефтегазовом секторе этот показатель значительно выше – до 30 % - 40 % в отдельных регионах [1]. Это связано с тем, что крупные нефтедобывающие компании («Газпром нефть», «Лукойл», «Роснефть» и др.) всё чаще прибегают к автономным энергетическим решениям, включая дизельные, газопоршневые и газотурбинные электростанции малой мощности.

Преимущества малой энергетики в нефтедобыче очевидны. В первую очередь это автономность – отсутствие зависимости от централизованных сетей. Мобильность и модульность делает возможным быстрое развёртывание и перемещение. Адаптивность к нагрузкам даёт возможность работы в режиме переменной нагрузки, характерной для добычи нефти. Снижение потерь при пере-

даче энергии обусловлено минимизацией потерь на его транспортировку (меньшее количество потерь электроэнергии в сети). Также возможна комбинация различных методов генерирования электроэнергии (комбинация с солнечными, ветровыми и другими возобновляемыми источниками).

Электрогенерирующие агрегаты представляют собой устройства, преобразующие механическую энергию в электрическую. В контексте малой энергетики для снабжения фондов нефтедобычи применяются следующие типы ЭГА:

1. Дизельные электростанции – наиболее распространённые типы ЭГА в отдалённых нефтяных промыслах. Их популярность обусловлена простотой эксплуатации, высокой надёжностью и возможностью работы в экстремальных климатических условиях.

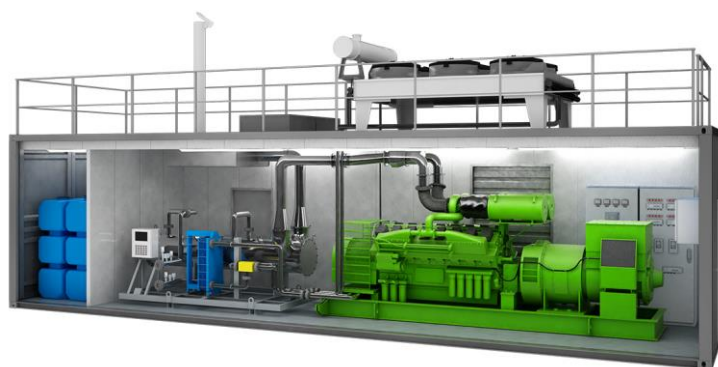


Рисунок 1 – Типовая конфигурация дизельного агрегата

По данным исследования СПбГУ и УГНТУ, ДЭС мощностью от 50 кВт до 5МВт широко используются на временных и сезонных объектах, а также в качестве резервного источника питания [2].

2. Газопоршневые установки – используют попутный нефтяной газ (ПНГ) или природный газ в качестве топлива. Это актуально для нефтедобычи, где ежегодно сжигается миллионы кубометров ПНГ, что вызывает критику со стороны экологических организаций.

По данным Минприроды РФ, в 2023 году уровень утилизации ПНГ в России составляет около 95 %, однако в некоторых регионах Сибири этот показатель снижается до 80 % [3].

ГПУ отличаются высоким КПД (до 40-45% при электрогенерации, до 90% при когенерации), возможность работы в составе автономных энергосистем и относительно низкой стоимостью эксплуатации. Газопоршневые агрегаты мощностью 0,5-5 МВт эффективно интегрируются в энергосистемы нефтяных месторождений, особенно при наличии развитой газосборной сети [4].



Рисунок 2 – Типовая конфигурация газопоршневого агрегата

3. Газотурбинные установки - применяются на более крупных объектах с постоянной нагрузкой. Они обладают высокой удельной мощностью, компактностью и возможностью быстрого пуска. Однако их КПД ниже, чем у ГПУ (особенно на частичных нагрузках), а стоимость выше.

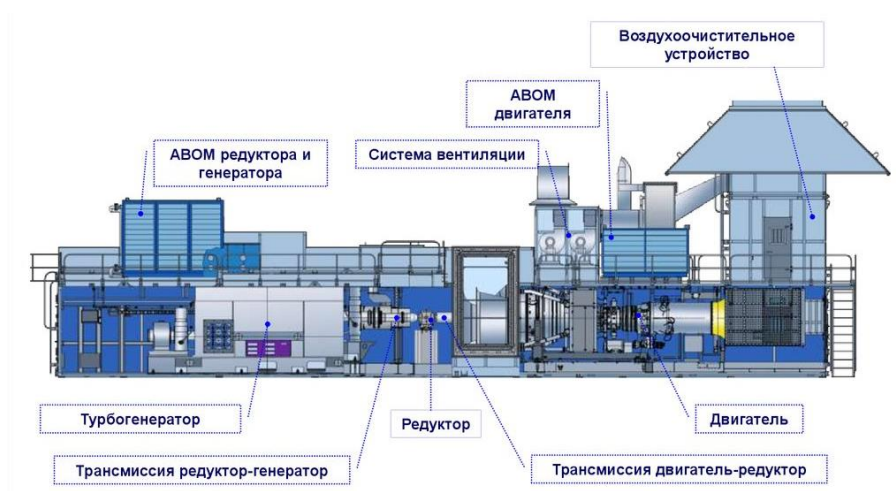


Рисунок 3 – Типовая конфигурация газотурбинной станции малой мощности

В условиях нефтедобычи ГТУ используются в составе автономных электростанций (АЭС) на месторождениях с высоким давлением газа. Современные малые ГТУ (мощностью от 1–10 МВт) демонстрируют КПД до 35 %, а при использовании когенерации – до 80 % [5].

Современные нефтедобывающие объекты, расположенные в удалённых и труднодоступных регионах, всё чаще переходят на автономные источники электроснабжения. Эффективное управление такими распределёнными энергетическими ресурсами невозможно без внедрения систем автоматизации, в первую

очередь – SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition – системы диспетчерского управления и сбора данных).

SCADA-системы играют ключевую роль в обеспечении надёжности, энергоэффективности и безопасности электроснабжения на нефтяных промыслах. Они позволяют в реальном времени мониторить параметры работы ЭГА, управлять их включением/выключением, оптимизировать режимы нагрузки. В условиях малой энергетики, SCADA-система становится не просто инструментом автоматизации, а стратегическим элементом энергетической устойчивости.

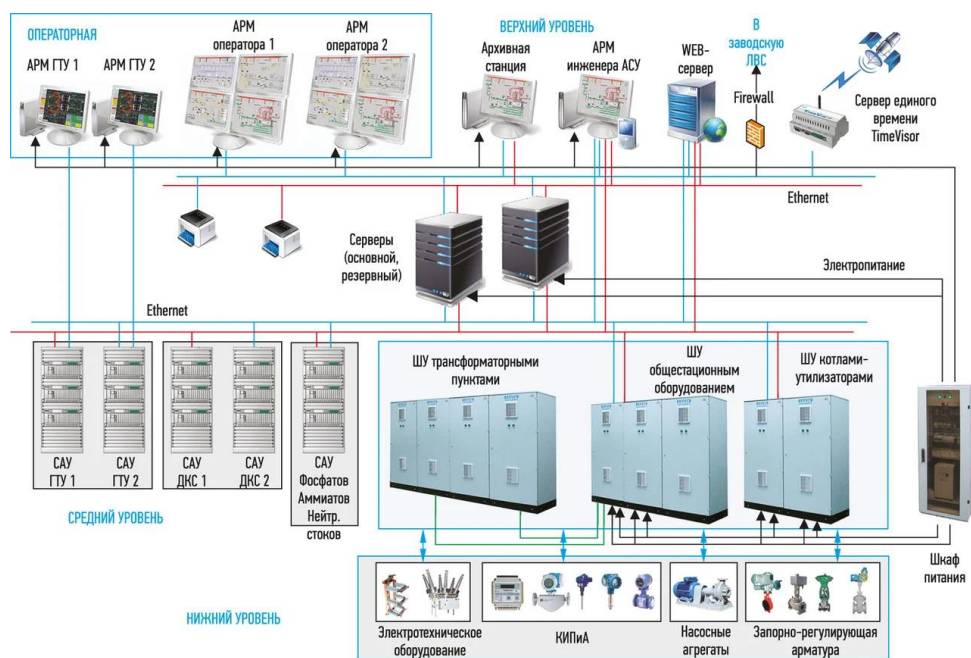


Рисунок 4 – Типовая архитектура SCADA-системы для управления электрогенерирующей станцией

Такие системы обеспечивают широкий спектр функций, критически важный для эффективной эксплуатации электрогенерирующих агрегатов.

Одна из основных задач – непрерывный сбор данных с ЭГА. Это позволяет операторам отслеживать текущее состояние каждого генератора: работает ли он, на какой мощности, какие параметры двигателя, сколько вырабатывает энергии, сколько потребляет топлива.

Как отмечают некоторые источники, в условиях Арктики и Дальнего Востока, где доступ к объектам затруднён, возможность удалённого мониторинга через SCADA позволяет сократить количество выездов бригад на 60 % – 70 % [6]. Это особенно важно для дизельных ЭГА, где критичны такие параметры, как уровень топлива и температура охлаждающей жидкости.

Список литературы

- 1 Козлов, А. Н. Роль малой энергетики в энергобалансе нефтегазовых регионов России / А. Н. Козлов, В. И. Петров // Энергетика: вчера, сегодня, завтра. – 2021. – № 3. – С. 45–52.
- 2 Белозёров, Д. С. Анализ эффективности дизельных электростанций на нефтяных промыслах / Д. С. Белозёров, К. А. Иванов // Вестник СПбПУ. Энергетические науки и технологии. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 112–120.
- 3 Минприроды России. Отчёт о состоянии и использовании минерально-сырьевой базы РФ. – М., 2023. – [Без указания объёма]. – Режим доступа: по запросу в Минприроды России.
- 4 Гришин, А. А. Применение газопоршневых установок в нефтедобыче / А. А. Гришин, М. Л. Кузнецов // Теплоэнергетика. – 2021. – № 7. – С. 22–28.
- 5 ВТИ. Отчёт о технико-экономических показателях малых ГТУ. – М., 2021. – [Без указания объёма]. – Режим доступа: по запросу во ВТИ.
- 6 Сидоров, А. В. Удалённый мониторинг ЭГА в арктических условиях / А. В. Сидоров, М. Н. Козлов // Энергетика: инновации и технологии. – 2022. – № 4. – С. 55–62.

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ФОРМ ПОРШНЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Целовальников И. М., Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор,

Каменев С. В., канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: Цифровое моделирование и виртуальное прототипирование являются ключевыми инструментами современного инжиниринга, особенно когда речь идёт о создании сложных форм поршней большого диаметра. Эти процессы помогают инженерам анализировать и улучшать конструкции ещё до изготовления реальных прототипов, тем самым снижая затраты и риски. В данной работе рассматриваются современные подходы к цифровому моделированию и виртуальному прототипированию поршней больших диаметров.

Ключевые слова: цифровое моделирование и виртуальное прототипирование

Создание поршней большого диаметра и сложного профиля требует тщательного подхода к проектированию и изготовлению. Современные тенденции развития промышленности диктуют необходимость повышения эффективности процессов проектирования и сокращения сроков вывода продуктов на рынок, особенно в области машиностроения. Одним из решений этих задач является внедрение технологий виртуального прототипирования и цифрового моделирования деталей сложной формы, таких как поршни большого диаметра. Они позволяют создавать точные математические модели будущих изделий, проверять их работоспособность и оптимизировать параметры конструкции без необходимости изготовления дорогостоящих физических прототипов.

Цифровое моделирование и виртуальное прототипирование — это математическое описание физической системы, созданное с помощью специализированных компьютерных программ. Такая модель содержит полную информацию о форме, размерах, материалах и характеристиках изделия. При создании поршня используются специализированные CAD/CAM систем (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing). Эти системы обеспечивают создание трехмерных моделей деталей, проведение инженерного анализа (FEA – Finite Element Analysis) и автоматизацию производственного процесса. Процесс цифрового моделирования и виртуального прототипирования можно разделить на несколько этапов:

- определение целей проекта, изучение существующих аналогов и выявление основных требований к конструкции поршня для достижения максимальной долговечности;

- построение трехмерной модели поршня с учётом всех особенностей его формы и материала. Здесь важную роль играют специальные программы, такие как CATIA, NX, Autodesk Inventor и др., которые позволяют создавать точные трехмерные модели детали с учетом всех конструктивных особенностей;

- инженерные расчеты, анализ напряжённо-деформированного состояния, температурных полей и деформаций в различных режимах работы, используются методы конечных элементов (FEM) для оценки прочности конструкции под воздействием нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации поршня с целью оптимизации его конструкции, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы инженерного анализа

Тепловой анализ	CFD + FEM	Распределение температурного поля при сжатии, оценка нагрева зон конструкции
Механический анализ	Линейная/нелинейная статика, динамика	Напряжения от давления продукта, инерционных сил, тепловых деформаций
Термоупругий анализ	Coupled Thermal-Stress	Взаимосвязь температуры и механических напряжений
Усталостный анализ	Fatigue Life (nCode, ANSYS nCode)	Прогноз ресурса при циклических нагрузках
Гидродинамика охлаждения	CFD (анализ потока масла в каналах)	Оптимизация формы и расположения охлаждающих каналов

- создание наглядных представлений работы поршня внутри узла, что позволяет визуально оценить динамику взаимодействия деталей и выявить возможные отклонения поршня;

- оптимизация конструкции на предыдущих этапах с внесением изменений и повторным проведением различных видов анализа до тех пор, пока не будет

достигнут оптимальный результат, обеспечивающий надежность и долговечность изделия, при рабочих и пиковых нагрузках, на рисунке 2 показаны промежуточные результаты расчёта.

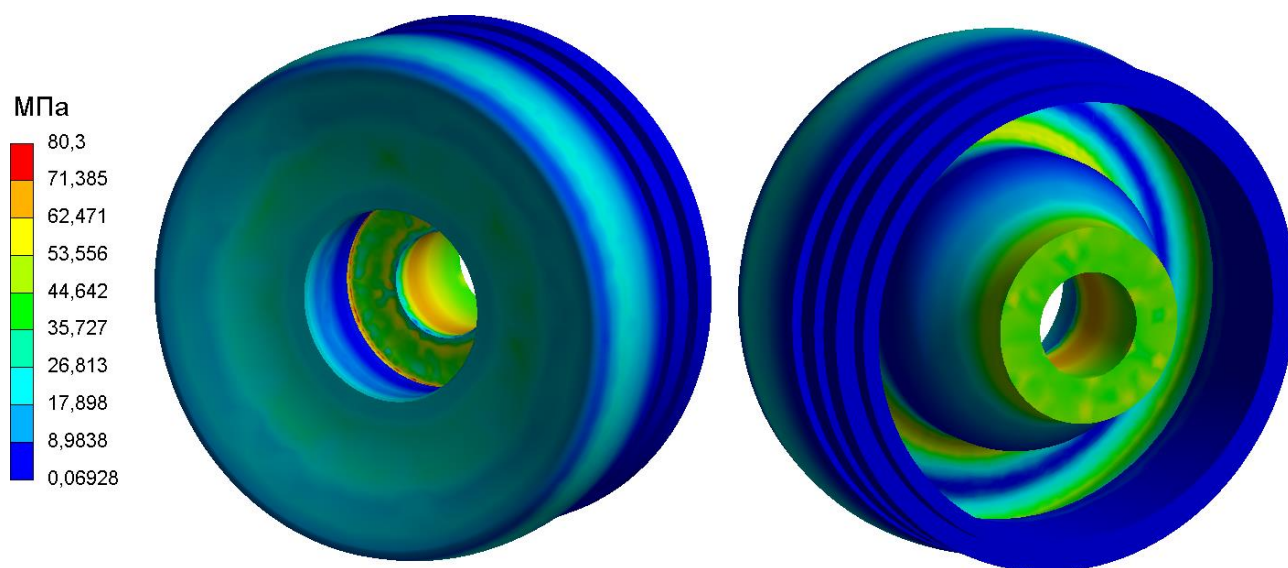


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений в полупоршне

Примером успешного внедрения методик цифрового моделирования и виртуального прототипирования является проект по модернизации поршневой группы агрегатов переработки тяжелых нефтяных остатков и нефтяных шламов большой мощности, используемых в нефтегазовой промышленности. Путем детальной численной оценки были выявлены слабые места конструкций существующих поршней, предложены меры по улучшению их характеристик и обеспечению импортозамещения.

Подобные проекты демонстрируют высокую эффективность применения современных цифровых инструментов в машиностроительной отрасли, позволяя существенно ускорить процесс разработки новых продуктов и повысить качество выпускаемой продукции.

Развитие технологий цифрового моделирования и виртуального прототипирования играет ключевую роль в современной индустрии машиностроения. Данные подходы способствуют повышению конкурентоспособности предприятий, сокращают сроки выхода продукции на рынок и минимизируют риски, связанные с ошибками проектирования. Внедрение этих технологий открывает новые возможности для развития и поддержания высоких стандартов качества производимых изделий, реализуя экономически эффективный и научно обоснованный подход к созданию высоконагруженных деталей. Внедрение таких технологий становится не просто выгодным, а стратегически необходимым для производителей энергетического оборудования в условиях санкционного дефицита запасных частей и импортных комплектующих, а также в связи необходимостью

разработки инновационных и импортозамещающих решений под нужды топливно-энергетического комплекса.

Список литературы

2 Целовальников И. М. Моделирование динамики многотельных систем в производстве машиностроительных изделий / И. М. Целовальников, С. В. Каменев// Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VIII Всерос. науч.- практ. конф., 16-17 нояб. 2017 г. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 439-443. – 5 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗА В РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКЕ

Цуканов А.В., Тугов В.В., д-р техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассматривается возможность применения алмаза в качестве отражателя рентгеновских лучей. Рассмотрены научные работы отечественных и зарубежных авторов. Особое внимание уделяется проектам, реализованным на практике.

Ключевые слова: алмаз, отражение алмаза, рентген, рентгеновское излучение.

В процессе конструирования приборов, генерирующих рентгеновское излучение, ученые столкнулись с проблемой создания качественного зеркала - устройства, способного хорошо отражать жесткие рентгеновские лучи.

Главная сложность состоит в том, что высокоэнергетические фотоны жёсткого рентгеновского излучения практически не отражаются от поверхности материалов при перпендикулярном или близком к прямому углу падения. Коэффициент отражения в таких случаях практически равен нулю. В результате большая часть излучения либо проникает сквозь материал, либо поглощается им, либо происходят оба этих процесса одновременно.

Современные попытки решения этой проблемы включают разработку различных композитных материалов и сплавов. Однако достичь значительного прогресса, то есть получить коэффициент отражения, близкий к единице, пока не удалось. Частичное отражение рентгеновских лучей возможно только при использовании крайне малых углов скольжения – менее нескольких градусов. Эти углы определяются структурой материала, и только в таких условиях вещество начинает проявлять свойства зеркала для рентгеновского излучения [1].

Недавние исследования в области рентгеновских лазеров открыли перспективную возможность использования алмазов в качестве зеркального материала для XFEL. Теоретические расчёты демонстрируют, что алмаз обладает исключительно высоким коэффициентом отражения жёстких рентгеновских лучей, превышающим 0,9 при прямом падении излучения. Это означает, что более 90% падающего рентгеновского излучения отражается от алмазной поверхности. Такой впечатляющий показатель обусловлен совершенной кристаллической структурой алмаза. Расчёты также указывают, что для эффективного отражения «жёсткого» рентгеновского излучения достаточно алмазного зеркала толщиной около 1 мм [2].

Для достижения максимального коэффициента отражения необходимо обеспечить монохроматичность рентгеновского луча. Все фотоны должны иметь практически одинаковую частоту, длину волны или энергию. Это обусловлено узкой полосой отражения рентгеновского излучения от алмазного зеркала.

Отражение рентгеновского излучения от кристалла происходит только при соблюдении условия Вульфа-Брэгга. Это явление, известное как брэгговское отражение, возможно лишь при определённом соотношении между периодом кристаллической решётки материала, углом падения рентгеновского луча (углом скольжения) и длиной волны излучения. Если кристалл ориентирован так, что условие Вульфа-Брэгга не выполняется для какой-либо атомной плоскости, брэгговское отражение не происходит. Поэтому очень важно, чтобы рентгеновское излучение было монохроматическим и его длина волны, а значит, и энергия, удовлетворяла условию Вульфа-Брэгга [3-4].

Несмотря на все преимущества алмаза как материала для преломляющих линз, барьером для использования является сложность его обработки: алмаз является самым твердым материалом периодической системы и чрезвычайно химически инертным.

За последние годы исследователи разработали несколько инновационных подходов к формированию алмазных линз. Особое внимание уделяется применению микроэлектромеханических систем (МЭМС), в частности, электронно-лучевой литографии в сочетании с реактивным ионным травлением. Прорыв в области лазерной технологии, позволивший создавать импульсы длительностью менее 10 пикосекунд, открыл новые возможности для обработки алмаза методами резки и абляции. Параллельно развивается направление ионно-лучевой литографии с прямым формированием рельефа материала, доказавшее свою эффективность при производстве микролинз из алмаза.

Результаты экспериментальных исследований, представленные в работе [5], демонстрируют потенциал различных методов обработки алмаза для создания преломляющей оптики. В ходе экспериментов были протестированы образцы линз, изготовленные с применением технологий МЭМС, лазерной обработки и ионно-лучевой литографии, при этом испытания проводились как на синхротронных установках, так и на лабораторных источниках рентгеновского излучения.

Детальное исследование термических характеристик алмазных и бериллиевых линз, проведённое в работах [6-7], выявило существенные преимущества первого материала. При энергиях свыше 18 кэВ алмазные линзы демонстрируют значительно более низкую степень нагрева по сравнению с бериллиевыми аналогами. Дополнительным преимуществом является низкий коэффициент теплового расширения алмаза, что позволяет сохранять функциональность линз даже

в диапазоне энергий 10–18 кэВ, несмотря на высокие параметры температуры по сравнению с бериллиевыми оптическими элементами.

Физики из США, согласно своей статье, сумели создать отражатель из алмаза для жесткого рентгена [8].

Авторы статьи использовали для создания рентгеновского зеркала искусственный алмаз типа IIa. Эта разновидность примечательна тем, что имеет очень низкий процент примесей, в частности азотных. Чтобы проверить качество изготовленного рентгеновского зеркала, исследователи направляли на кристалл толщиной приблизительно 0,4 мм «практически» монохроматический рентгеновский луч с энергией фотонов 23,7 кэВ (рисунок 1).

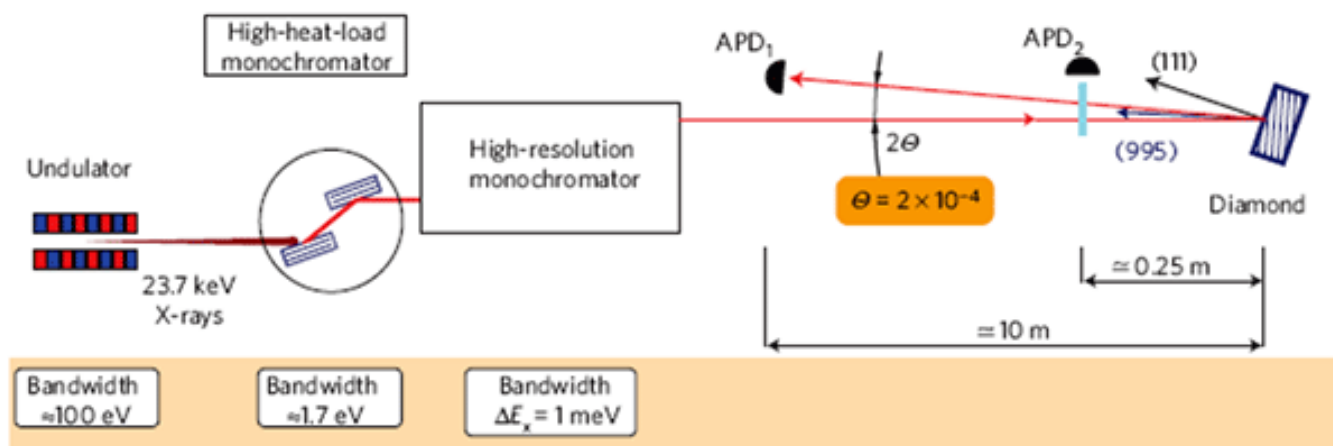


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки, использовавшейся для измерения коэффициента отражения алмаза

В основе генерации рентгеновского излучения лежит специальное устройство – ондулятор, представляющий собой систему упорядоченно размещённых магнитов. Между этими магнитами происходит движение электронов, которые в процессе перемещения генерируют рентгеновское излучение определённой энергии.

Создаваемое излучение соответствует требованиям условия Вульфа-Брэгга, что в рамках данного эксперимента соответствует значению 23,7 кэВ. Важно отметить, что изначально полученный спектр нельзя назвать строго монохроматическим – разброс энергии фотонов составляет 100 эВ.

Для достижения необходимой степени монохроматичности излучение последовательно проходит через два специализированных монохроматора. В результате этого процесса энергетический разброс сначала сокращается до 1,7 эВ, а затем дополнительно уменьшается до 1 мэВ.

Полученное практически монохроматическое излучение направляется на алмазную поверхность под углом, близким к прямому (отклонение составляет

всего 0,0002 радиан). Происходит процесс отражения рентгеновских лучей от алмазной поверхности.

Для проведения измерений используются два основных элемента:

- детектор APD2 – измеряет коэффициент отражения;
- фотодиод APD1 – регистрирует интенсивность рентгеновского излучения.

Таким образом, рекордно высокий коэффициент отражения жестких рентгеновских лучей, а также высокая прочность и очень малое термическое расширение делают алмаз потенциально привлекательным для использования в рентгеновской оптике. Причем это касается не только нового поколения рентгеновских лазеров, но также рентгеновских интерферометров Фабри-Перо, рентгеновской спектроскопии и др. Основной недостаток – сложность обработки алмаза, для чего необходимо применять сложные технологии.

Список литературы

1 Recent developments of high quality synthetic diamond single crystals for synchrotron X-ray monochromators / A. K. Freund, J. Hoszowska, J. P. F. Sellschop [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2001. – Vol. 467-468, No. Part 1. – P. 384-387. – EDN AQZOLX.

2 Erratum: Single-crystal diamond refractive lens for focusing X-rays in two dimensions ([Journal of Synchrotron Radiation (2016) 23 (163-168)] / S. Antipov, S. V. Baryshev, J. E. Butler [et al.] // Journal of Synchrotron Radiation. – 2016. – Vol. 23, No. 3. – P. 850. – DOI 10.1107/S1600577516006159. – EDN WWEYBV.

3 Поликарпов, М. В. Алмазные преломляющие линзы для лазероподобных рентгеновских источников : специальность 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Поликарпов Максим Валерьевич. – Калининград, 2017. – 22 с. – EDN ZQDEPL.

4 Рогалин, В. Е. О некоторых применениях алмазов в силовой оптике и электронике / В. Е. Рогалин, М. И. Крымский, К. М. Крымский // Радиотехника и электроника. – 2018. – Т. 63, № 11. – С. 1188-1196. – DOI 10.1134/S0033849418110098. – EDN YQZJHF.

5 Снигирева, И. Алмазная преломляющая оптика для современных источников рентгеновского излучения / И. Снигирева, А. Снигирев // Журнал технической физики. – 2025. – Т. 95, № 3. – С. 438-448. – DOI 10.61011/JTF.2025.03.59848.323-24. – EDN CIZZAK.

6 Single-crystal diamond refractive lens for focusing X-rays in two dimensions / S. Antipov, S. V. Baryshev, J. E. Butler [et al.] // Journal of Synchrotron Radiation.

– 2016. – Vol. 23, No. 4. – P. 163-168. – DOI 10.1107/S1600577515020639. – EDN WPFOGH.

7 Single crystal diamond x-ray lens development / S. Antipov, S. Baryshev, S. Baturin [et al.] // IPAC 2016 - Proceedings of the 7th International Particle Accelerator Conference : 7, Busan, 08–13 мая 2016 года. – Busan, 2016. – P. 3643-3644. – EDN YYDSRX.

8 High-reflectivity high-resolution X-ray crystal optics with diamonds / Y. V. Shvydko, S. Stoupin, A. Cunsolo [et al.] // Nature Physics. – 2010. – Vol. 6, No. 3. – P. 196-199. – DOI 10.1038/nphys1506. – EDN MZAJAD.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Щербаков А.А., Логинов В.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в работе рассматривается современное состояние аддитивного производства – технологии создания объектов путём послойного добавления материала. Освещаются основные методы и материалы, используемые в аддитивном производстве, а также его применение в различных отраслях промышленности. Анализируются текущие тенденции и перспективы развития технологии, включая улучшение качества продукции, снижение затрат и расширение областей применения. Особое внимание уделяется инновационным разработкам и исследованиям, направленным на совершенствование аддитивного производства. Работа будет полезна специалистам в области инженерии, технологий и производства, а также всем, кто интересуется современными тенденциями в промышленности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, послойное добавление материала, прототипирование, быстрое изготовление, 3D-моделирование, материалы для аддитивного производства, полимеры, металлы, композиты, промышленное производство, умное производство, автоматизация, будущее аддитивного производства

Аддитивное производство – это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки) [1].

Еще в XIX веке были заложены концептуальные основы аддитивных технологий. В 1892 году Джозеф Блантер предложил способ послойного создания топографических карт при помощи восковых пластин. Он брал много восковых пластин, вырезал на каждой пластине контур одной высоты, а потом складывал эти пластины стопкой друг на друга. Получалась готовая трехмерная модель холмов и долин [2].

В 1904 году Корло Баэс предложил новый подход к созданию фотоскульптур, который необходимость трудоёмкого механического вырезания контуров. Вместо этого исследователь применил фотомеханический принцип, основанный на свойствах светочувствительных материалов.

Суть метода заключалась в использовании желатинового слоя, легированного бихроматами. При экспонировании через фотонегатив происходило селективное задубливание материала: участки, подвергшиеся воздействию света, приобретали способность активно поглощать воду и расширяться при последующей гидратации. В то время как незасвеченные зоны оставались инертными [3].

Современный этап развития аддитивных технологий демонстрирует переход от экспериментальной стадии к фазе промышленной интеграции. Технологии преодолели рамки быстрого прототипирования и сформировались в самостоятельную производственную парадигму, известную как прямое цифровое производство). Данный переход характеризуется: интеграцией АТ в технологические цепочки серийного производства, развитием стандартизации и системы контроля качества процессов, расширением материаловедческой базы и область применения.

Современные аддитивные технологии подразделяются на несколько групп:

- стереолитография (SLA) ее принцип заключается в том, что платформа для построения опускается на высоту одного слоя от дна ванны, и первый слой отверждается источником света через прозрачное дно емкости. Затем платформа поднимается, и отверждается следующий слой[4];

- селективное лазерное спекание (SLS) принцип работы спекания порошка с помощью инфракрасного лазера при высокой температуре при котором зерна порошка консолидироваться при контакте с лазерным лучом;

- моделирование методом наплавления (FDM/FFF) принцип работы послойное наплавление при выдавливании определенного количества расплавленного филамента на платформу принтера для формирования заданного 3D-объекта [5];

- электронно-лучевое плавление (EBM) происходит в вакууме для высокой точности и минимального загрязнения. Компьютер управляет лучом, выборочно расплавляя порошок, создавая объект снизу вверх [6].

Аддитивные технологии используют разнообразные материалы, включая термопласты (PLA, ABS, PA, PEEK), фоточувствительные полимеры (SLA, DLP) и композиты (эластомеры). Эти материалы применяются в технологиях FDM, SLS, SLA и DLP для создания деталей с высоким качеством и функциональностью.



Рисунок 1 – Катушка пластика

Металлические материалы состоят из основных и благородных сплавов, а также суперсплавов с высокой и экстремальной термостойкостью. Их производство требует строгого контроля за размерами и формой частиц.

Керамические материалы термостойкие и химически стабильные, а биокерамика используется в костных имплантатах. Работа с керамикой требует спекания и контроля за усадкой. Передовые функциональные градации и гибридные материалы обещают уникальные свойства для деталей с переменными характеристиками.

Биоматериалы включают полимеры, которые сплетены с биосовместимыми матрицами, гидрогелями и конструкциями для биопечати и Tissue engineering, которые требуют специальных условий обработки.

Инженеры Siemens Energy разработали технологию Hybrid L-PBF Repair для ремонта лопаток турбины. Технология заключается в том, что при 3D-сканировании лопатки создается цифровой файл, затем с помощью программы CAD изменяется её геометрия, а после ведётся ремонт с помощью 3D-принтера[7].

В 2008 году напечатали первый цельный 3D-протез конечности. Сейчас с помощью стереолитографии изготавливают индивидуальные сердечные клапаны, челюсти, суставы и детали слуховых аппаратов. Первым напечатанным органом стал мочевой пузырь, изготовленный из тканей хозяина и успешно пересаженный. В будущем планируют печатать органы из человеческой ткани и искусственных материалов..[8]

В 2018 году BMW создало центр аддитивного производства в Мюнхене, где выпускаются прототипы, элементы шасси и запчасти для классических автомобилей. Например, крыльчатка помпы для гоночных моделей, напечатанная методом SLM, обладает оптимизированной аэродинамической формой [9].



Рисунок 2 – Крыльчатка водяного насоса

ПАО «Камаз» создает макеты деталей автомобилей до серийного производства. Это могут быть ручки, кожухи, корпуса панелей приборов. Инженеры проверяют эргономику, собирают узлы и выявляют ошибки, что сокращает время доводки конструкции до нескольких дней.

Для оценки экономической целесообразности производства изделий разными методами нужно проанализировать затраты на материалы, обработку, инструменты и время. Пример: сравнительный анализ затрат на производство корпуса редуктора.

Аддитивные технологии снижают затраты по сравнению с традиционными методами благодаря нескольким факторам. Они минимизируют отходы, автоматизируют процессы, оптимизируют материалы и сокращают время подготовки производства. А также уменьшают затраты на хранение и транспортировку за счет использования порошковых или жидких материалов. Кроме того, они требуют меньшего обслуживания оборудования. Несмотря на начальные инвестиции, долгосрочные выгоды делают АТ привлекательными для многих отраслей. 3D-печать экономичнее при мелкосерийном производстве до 100 единиц благодаря отсутствию затрат на инструменты и меньшей себестоимости. Точка безубыточности наступает при 250 единицах, где затраты равны. После этого традиционные методы становятся выгоднее из-за снижения удельных расходов.

Экономическая целесообразность аддитивных технологий в машиностроении зависит от типа детали и объема производства. Для мелкосерийного, уникального производства и сложных форм они выгоднее традиционных, так как исключают затраты на инструменты, минимизируют отходы и быстро адаптируются к изменениям дизайна. Традиционные методы конкурентоспособны в массовом производстве простых деталей благодаря низким затратам на единицу продукции [9].

Аддитивные технологии сталкиваются с барьерами: высокая стоимость сырья, дефицит кадров, сложность интеграции, низкая скорость построения, необходимость сложной постобработки и отсутствие стандартов качества.

Перспективы связаны с удешевлением материалов, замкнутыми циклами переработки порошков, ИИ для оптимизации и контроля качества, увеличением скорости за счет многоструйных систем и новых лазеров. Гибридные установки и автоматизированные цифровые фабрики приведут к революционным изменениям к 2030 году.

Аддитивные технологии изменяют производство в авиакосмической, медицинской и автомобильной отраслях, включая персонализированную медицину и массовое строительство. Ключевые вызовы – высокая стоимость, нехватка специалистов и сложности интеграции. Перспективы связаны с развитием композитов, гибридных систем и ИИ, а также экологичного производства. К 2030 году планируется создание глобальной сети цифровых фабрик для местного производства сложной продукции.

Список литературы

1 Hull C.W. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography // US Patent Journal. 1988. Vol. 4. No. 12. P. 23-35.

2 Crump S.S. Apparatus and method for creating three-dimensional objects // Additive Manufacturing Technologies Review. 2010. Vol. 8. No. 2. P. 45-58.

3 Петров, В.И. Современные методы стереолитографии в аддитивном производстве / В.И. Петров // Технологии машиностроения. – 2023. – Т. 22. – № 4. – С. 78-89.

4 Сидоров, А.А. Технология послойного наплавления в промышленном производстве / А.А. Сидоров // Автоматизация и современные технологии. – 2022. – Т. 18. – № 5. – С. 112-125.

5 Кузнецов, Д.С. Электронно-лучевая плавка в аддитивных технологиях / Д.С. Кузнецов // Материаловедение и технологии. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 67-78.

6 Иванова, М.К. Инновационные методы охлаждения турбинных лопаток / М.К. Иванова // Авиационные двигатели. – 2022. – Т. 12. – № 6. – С. 34-47.

7 Смирнов, П.А. Тенденции развития аддитивных технологий в промышленности / П.А. Смирнов // Современное производство. – 2023. – Т. 9. – № 1. – С. 89-102.

8 Васильев, Е.О. Организация центров аддитивного производства в автомобилестроении / Е.О. Васильев // Автомобильная промышленность. – 2022. – Т. 17. – № 4. – С. 56-68.

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ДЛЯ РЕЦИКЛИНГА

Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин
В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: одной из задач сегодня является переработка и утилизация отходов с последующим извлечением ценных компонентов. Эти отходы содержат дорогостоящие редкоземельные металлы, такие как вольфрам, кобальт, титан и тантал, которые экономически целесообразнее регенерировать из производственных остатков, чем добывать из первичного сырья.

Ключевые слова: твердый сплав, режущий инструмент, вольфрам, шлам, рециклинг, машиностроение

Машиностроительные предприятия широко применяют твердые сплавы благодаря их износостойкости, твердости и прочности. Эти материалы востребованы в таких отраслях, как машиностроение, аэрокосмическая и горнодобывающая промышленность. Современные технологии производства предъявляют все более жесткие требования к механическим характеристикам этих материалов, что стимулирует поиск новых методов их получения. Одним из перспективных направлений является жидкофазное спекание, позволяющее достигать высокой плотности и однородности структуры.

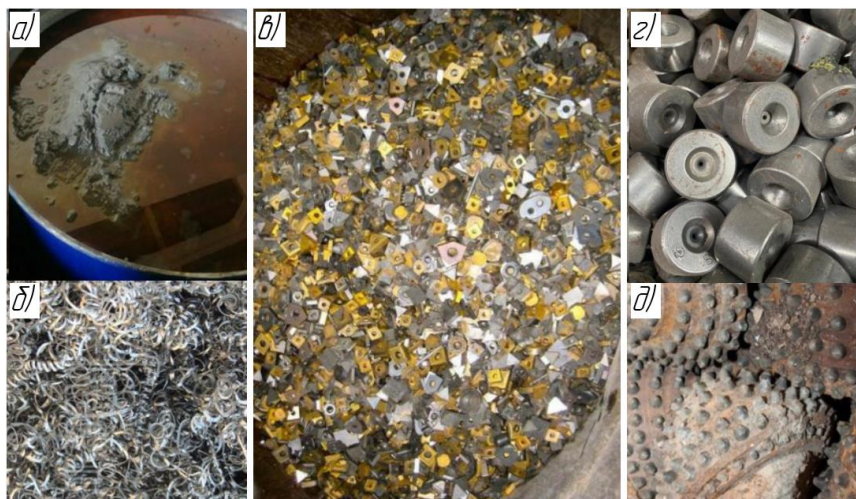
Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения прочности твердых сплавов без существенного увеличения себестоимости их производства. В связи с этим переработка отходов твердых сплавов представляет собой важную и актуальную проблему. В работе рассматриваются некоторые методы переработки вольфрамсодержащих отходов.

К 2022 году мировые запасы вольфрама (добыча на рудниках, ресурсы) составляли 84000 тонн, которые в основном приходились на Китай, Вьетнам, Россию, Боливию, Руанду, Австрию, Испанию, Португалию и некоторые другие страны Африки. Важность вольфрама во многих областях применения в промышленности и его низкая взаимозаменяемость придают ему высокое «экономическое значение». Из-за высокой цены возникает потребность в повторном использовании отходов изношенных твердосплавных режущих инструментов (кусковые отходы), а также шлифотходов (шлама) которые образуются при шлифовании. Необходимо разработать эффективные методы переработки отходов карбида вольфрама для извлечения вольфрама (W) и связующего металла, такого как кобальт (Co), никель (Ni).

Для решения проблемы предложены многие методы. Однако в промышленности практическое применение получили лишь некоторые из них.

Продукты можно разделить на продукты для первого использования и продукты для конечного использования. Стержни из твердого сплава относятся к изделиям первого использования (также называемые полуфабрикатами), так как для конечной готовности требуется дальнейшая механическая обработка. Пластины из твердого сплава считаются готовым продуктом, так как их прессуют в специальных пресс-формах. Отходы, которые образуются при производстве продуктов первого использования, часто называют первичным или новым ломом, в то время как отходы, полученные в результате использования, называются вторичным или старым ломом. Так, например, шлам, образующийся в процессе обработки твердых металлических прутков (для сверл, фрез и т.д.), относится к первичному или новому лому.

Каждый инструмент предназначен для выполнения определенной функции, но после эффективной эксплуатации в течение определенного периода времени он часто становится неэффективным или некачественным вследствие износа или полной поломки инструмента. Это может быть вызвано многочисленными факторами, такими как потеря прочности, стабильности или чрезмерный износ, коррозия, деформация, разрушение и т.д., в результате чего инструмент теряет ценность и в конце концов такие инструменты выбраковываются. На рисунке 1 представлены некоторые виды вольфрамового лома.



а – шлифовальный шлам; б – стружка; в – сменные пластины; г – волоочильные штампы; д – буровые коронки

Рисунок 1 – Мягкий (а, б) и твердый (в, г, д) вольфрамсодержащий лом

В таблице 1 приведены различные виды лома, содержащего вольфрам и его концентрацию.

Таблица 1 – Виды лома

Тип лома	Вольфрам, %	Группа
Высокочистый вольфрам	99	Твердый лом (цельные куски)
Дисперсные оксидные сплавы W (ThO ₂ , ZrO ₂ , CeO ₂)	96-98	
Изделия из твердого сплава (также содержащие Co и Ta)	60-97	
Тяжелые металлические сплавы W	92-94	
Чистый вольфрамовый порошок	98-99	Мягкий лом (мелкие частицы, порошок, пыль, шлам)
Измельченный шлам W	30-60	
Смесь твердых металлических частиц	15-60	
Шлам, собранный с полов	40-60	

Из приведенной таблицы следует, что наименее ценные виды лома, такие как низкосортный измельченный шлам, содержат примерно в 15 раз больше вольфрама, чем среднестатистическая руда. Более того, значительная часть отходов показывает более высокое содержание вольфрама по сравнению с рудными концентратами.

Химический состав исходного шлама после подготовки, полученный рентгенофлуоресцентным анализатором Olympus Vanta серии C (рисунок 2), представлен в таблице 2.



Рисунок 2 – Внешний вид рентгенофлуоресцентного анализатора Olympus Vanta серии C

Таблица 2 – Химический состав исходного шлама

Элемент, %									
W	Co	Fe	Cr	P	V	Mo	Ni	Sn	Al

84,47	9,84	2,44	0,639	0,69	0,13	0,088	0,097	0,141	1,47
85,5	9,93	2,2	0,576	0,67	0,26	0,08	-	0,164	0,62

Анализ таблицы 2 показывает избыточное количество железа, олова и алюминия. Железо, вероятно, получено при сборе шлама по пути транспортировки в контейнер. Вероятно, примеси олова и алюминия получены из металлической связки алмазных кругов при обработки твердосплавных стержней (столбиков) до готового изделия (инструмента).

Таким образом, при удалении нежелательных примесей шлам становится ценным сырьем для производства твердых сплавов. И как показывают различные источники – отпадает необходимость дорогостоящей и длительной операции, при подготовке производства, это размол порошка до необходимого гранулометрического состава.

Без удаления примесей спечен штабик для испытаний на изгиб. Получено значение предела прочности при изгибе 1320 МПа, при твердости HRA 89, что показывает необходимость продолжения исследований.

Список литературы

1 Самойлов, В. С. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский; под ред. И. А. Ординарцев. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

2 Баженов, М. Ф. Твердые сплавы: справочник / М. Ф. Баженов, С. И. Байчман, Д. Г. Карпачев; под ред. М. Ф. Баженова. – М.: Металлургия, 1978. – 184 с.

3 Фальковский, В. А. Твердые сплавы / В. А. Фальковский, Л. И. Клячко. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 419 с.

4 ВК ТК – вольфрам, молибден, медь [Электронный ресурс] // Permet.ru : сайт. – URL: https://permet.ru/вк_тк/?ysclid=mbkvnuzj4330355406 (дата обращения 06.08.2025)

5 Патент RU2643291C1 Способ переработки кусковых отходов твердых сплавов [Электронный источник] Российская Федерация – опубл. 31.01.2018, – 5 с. URL : <https://patents.google.com/patent/RU2643291C1/ru> (дата обращения 05.05.2025)

6 Патент KR20110029853A Способ переработки отходов цементированного карбидного [Электронный источник]: Республика Корея – опубл. 23.03.2011. – 16 с. URL : <https://patents.google.com/patent/KR20110029853A/en?q=KR20110029853A#patentCitations> (дата обращения 05.05.2025)

7 Патент RU2110590C1 Способ переработки карбидных отходов твердых сплавов [Электронный источник]: Российская Федерация – опубл. 10.10.1998, –

5 с. URL : <https://patents.google.com/patent/RU2110590C1/ru?q=RU2110590C1>
(дата обращения 05.05.2025)

КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПО РАЗМЕРУ ЗЕРНА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА

Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: твердый сплав производится в промышленно развитых странах. Одной из важнейших характеристик порошка является гранулометрический состав. Приведен сравнительный анализ классификации гранулометрического состава по литературным источникам.

Ключевые слова: порошок твердого сплава, режущий инструмент, вольфрам, гранулометрический состав, машиностроение, пластина, микроструктура, сечение, класс зернистости, свойства сплава, размер.

Порошки для производства твердых сплавов полидисперсные, состоящие из частиц карбида вольфрама и кобальта разного размера. Одной из важных характеристик порошка, определяющих физико-механические свойства, является гранулометрический состав или их процентное соотношение по размерам.

Твердые сплавы классифицируют по размерам карбидов WC (α -фаза). Подразделяются следующим образом: особо мелкозернистые (ОМ), мелкозернистые (М), среднезернистые (без индекса), крупнозернистые (В). Размер карбидов оказывает существенное влияние на свойства сплава. Мелкозернистые сплавы обладают большей твердостью и износостойкостью (как имеющие большую удельную поверхность карбидной фазы), но их прочность ниже.

Класс зернистости соответствует размеру сечения зерен карбидных фаз (с допуском отклонением $\pm 0,5$ мкм), в соответствии с ГОСТ 9391-90 делят на 4 класса (таблица 1) [4].

В международном журнале предложена классификация твердых сплавов WC-Co в зависимости от размера зерен карбидов (таблица 2). Данная классификация используется фирмой «AB Sandvik Coromant S&D» [6].

Класс зернистости	Размер сечения карбида, мкм	Пример обозначения сплава
1 (особо мелкозернистый)	0,5 – 1,5	BK6-OM
2 (мелкозернистый)	1,5 – 2,5	BK6-M
3 (среднезернистый)	2,5 – 3,5	BK6
4 (крупнозернистый)	Свыше 3,5	BK6-B
особокрупнозернистые	8 – 15	

Таблица 2 – Классификация твердых сплавов в зависимости от размера зерен карбидов, фирма «AB Sandvik Coromant S&D»

Класс	Размер зерна, мкм
Сверхтонкий	0,2 – 0,5
Субмикронный	0,5 – 0,9
Тонкий	1,0 – 1,3
Средний	1,4 – 3,4
Крупный	3,4 – 5,0
Сверхкрупный	более 5,0

Также представлены микроструктуры в зависимости от размера зерен карбидов на рисунке 1.

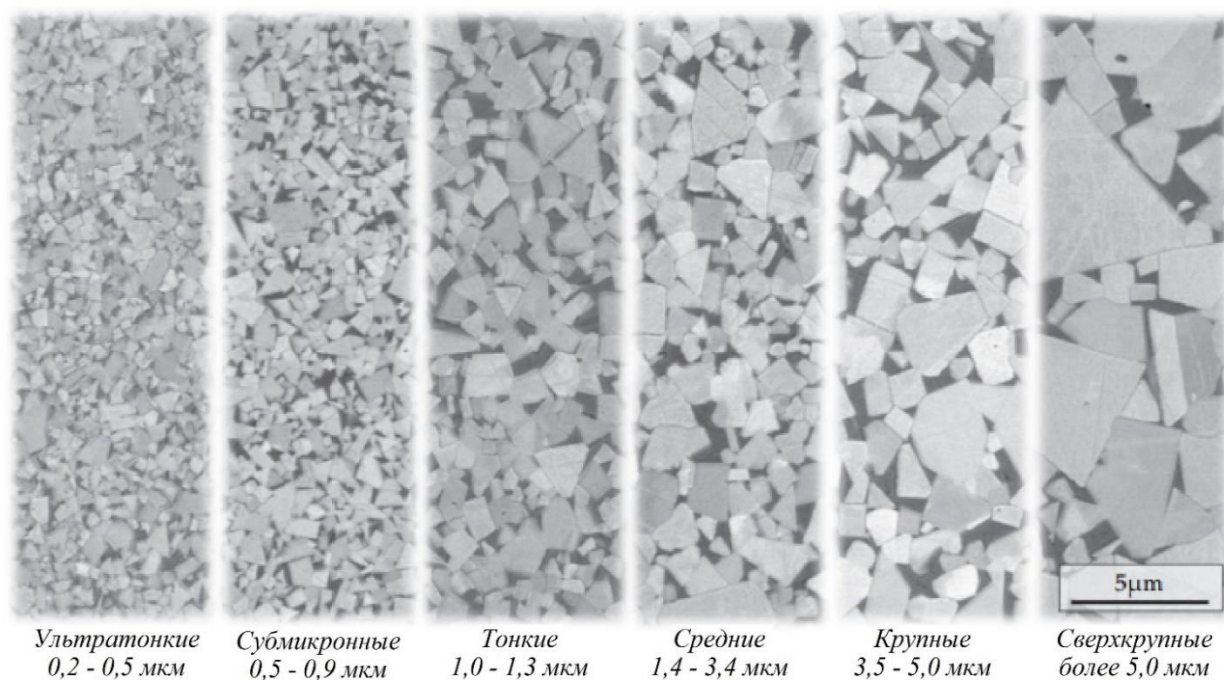


Рисунок 1 – Микроструктуры сплава WC-Co в зависимости от размера зерен карбида

Фирма «Omg American Co.» (США) выпускает субмикрометровые порошки твердого сплава по трем классификационным признакам (таблица 3).

Предприятие «Sandvik Hard Materials» (Швеция), являющееся одним из мировых лидеров в производстве порошков и твердосплавного инструмента, классифицирует по микроструктуре сплавов по размеру зерна. Классификация показана в таблице 4.

Таблица 3 – Свойства порошков вольфрама производства фирмы «Omg American Co»

Порошок	d, мкм	Суд, м ² /г
Супертонкий	0,1-0,2	1,8±0,15
Ультратонкий	0,3-0,4	1,3±0,15
Тонкий	0,8	0,95±0,15

Таблица 4 – Классификация по микроструктуре сплавов и по размеру зерна по материалам «Sandvik Hard Materials» (Швеция)

Класс	Размер зерна
Ультра-мелкозернистый	менее 0,5 мкм
Особо-мелкозернистый	0,5 – 0,9 мкм
Мелкозернистый	1,0 – 1,3 мкм
Средний	1,4 – 2,0 мкм
Средне-грубый	2,1 – 3,4 мкм
Грубый	3,5 – 5,0 мкм
Сверхгрубый	более 5,0 мкм

Марки твердых сплавов в стандартах других стран отражены в ГОСТ 3882-74, здесь же и основные физико-механические свойства твердых сплавов, основные данные приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что при одинаковом содержании кобальтовой связки свойства твердых сплавов различаются существенно. Это подтверждает важность размеров зерен карбида вольфрама. Практика производства твердых сплавов показывает переход производителей на размер зерна карбида вольфрама менее 2 мкм. Используя различное зерно, создаются сплавов с различными требуемыми свойствами.

Для обработки резанием титановых, коррозионностойких и жаропрочных сплавов наибольшее распространение и применение получили мелкозернистые и особомелкозернистые твердые сплавы. При спекании развиваются процессы рекристаллизации карбидной фазы, для предотвращения роста зерна применяют

дополнительно легирующие элементы в микродозах (карбиды титана, ванадия, хрома, тантала) и ведутся поиски других химических элементов.

Результат применения твердых сплавов с мелким зерном – выше твердость, прочность на сжатие и изгиб, износостойкость и вязкость.

Таблица 5 – Марки, состав и характеристики основных свойств твердых сплавов

Группа сплавов	Марка (ГОСТ 3882-74)	Химический состав, %				Предел прочности при изгибе Н/мм ²	Плотность, г/см ³	Твердость, HRA
		WC	TiC	TaC	Co			
Вольфрамобальтовые	BK6	94	-	-	6	1519	14,6...15,0	88,5
	BK6OM	92	-	2	6	1274	14,7...15,0	90,5
	BK8	92	-	-	8	1666	14,4...14,8	88,0
Титановольфрамовые	T30K4	66	30	-	4	980	9,5...9,8	92,0
	T15K6	79	15	-	6	1176	11,1...11,6	90,0
	T14K8	78	14	-	8	1274	11,2...11,6	89,5
	T5K10	85	5	-	10	1421	12,4...13,1	88,5
Титанотанталовольфрамовые	TT7K12	81	4	3	12	1666	13,0...13,3	87,0
	TT8K6	84	8	2	6	1323	12,8...13,3	90,5

Вывод – классификации разные, и нет в названиях единого подхода, поэтому проверяем по размеру в микрометрах.

Список литературы

1. ГОСТ 9391-90 Сплавы твердые спеченные.
2. Гиршов, В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие / В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 385 с.
3. Креймер, Г.С. Металлокерамические твердые сплавы / Г.С. Креймер. – М: Машиностроение, 1970. – 326 с.
4. Степанчук, А.Н. Технология порошковой металлургии / А.Н. Степанчук, И.И. Билык, П.А. Бойка. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1989. – 415 с.
5. Кудря, Н. А. Выяснение возможности применения плазменного порошка вольфрама: Отчет № 19-8211-38 / Н. А. Кудря, В. А. Фальковский, В. А. Чистякова. – М.: ВНИИТС, 1983.

6. Фальковский, В.А. Твердые сплавы / В.А. Фальковский, Л.И. Клячко. – М.: Изд-во «Руда и металлы», 2005.
7. McCandlish L. E., Seegopaul P. // Proc. Eur. Conf. Advances in Hard Materials Production. (Stockholm, Sweden. May 27–29, 1996). P. 93.
8. Pat. 6524366 (US). Method of forming nanograin tungsten carbide and recycling tungsten carbide / P. Seegopaul, L. Gao. 2003.
9. Замулаева, Е.И. Разработка наноструктурированных покрытий на основе WC–Co: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – М.: МИСиС, 2009.
10. Wang X., Fang Z., Sohn H. Y. // Proc. Intern. Conf. Powder Metallurgy & Particulate Materials. / Ed. J. Engquist. Denver, US, 2007. P. 8–10.
11. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов: Курс лекций / В. С. Панов, В. Н. Шуменко. – М.: Изд-во МИСиС, 2013.
12. Froschauer L., Fulrath R.M. Direct observation of liquidphase sintering in the system tungsten carbide-cobalt: Rep. № LBL-3189 (Oct. 1974). Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, CA.

ПРИМЕНЕНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ДЛЯ СПЕКАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент, Юршев И.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация: отходы твердого сплава содержат дорогостоящие металлы, такие как вольфрам, кобальт, титан и тантал, которые экономически целесообразнее регенерировать из производственных остатков, чем добывать из первичного сырья.

Ключевые слова: твердый сплав, режущий инструмент, вольфрам, шлам, рециклинг, машиностроение

Машиностроительные предприятия для режущего инструмента широко применяют твердые сплавы благодаря их износостойкости, твердости и прочности. Эти материалы широко востребованы в машиностроении и других отраслях. Современные технологии производства предъявляют более жесткие требования к механическим характеристикам этих материалов. Перспективным направлением является жидкофазное спекание, позволяющее достигать высоких физико-механических характеристик. В связи с этим переработка накопленных отходов твердых сплавов является актуальной проблемой и перспективной технологией.

Согласно исследованиям USBM (United States Bureau of Mines – Горное бюро Соединенных Штатов) и расчетам, общая потеря вольфрама по всему миру составляет 66 %. Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что переработка шлама – это перспективное направление, благодаря которым происходит экономия ресурса и снижается экологическая нагрузка.

По результатам измерения химического состава шлифовальных отходов твердого сплава, приведенного в таблице 1, надо полагать, что это готовое сырье для получения твердосплавных пластин.

Таблица 1 – Химический состав исходного шлама

Элемент, %									
W	Co	Fe	Cr	P	V	Mo	Ni	Sn	Al
84,47	9,84	2,44	0,639	0,69	0,13	0,088	0,097	0,141	1,47
85,5	9,93	2,2	0,576	0,67	0,26	0,08	-	0,164	0,62

Некоторое избыточное количество смазочно-охлаждающей жидкости, железа, олова и алюминия конечно будут влиять на свойства твердосплавных пластин, но было решено произвести пробное спекание.

Использована типовая технологическая схема производства вольфрамосодержащих сплавов, которая включает в себя следующие операции:

- приготовление смеси карбидов с кобальтом;
- прессование заготовок из полученной смеси;
- спекание заготовок;
- механическая обработка;
- контроль качества полученной марки сплава.

Спечен штабик для испытаний на изгиб. Получено значение предела прочности при изгибе 1320 МПа, при твердости HRA 89, что показывает необходимость продолжения исследований по удалению примесей.

Микроструктурный анализ выявил существенные различия между материалами: в отличие от однородного спеченного шлама, сплав ВК10 демонстрирует неоднородное распределение кобальтовой фазы и наличие пор, что подтверждается данными микроскопии, представленными на рисунке 1.

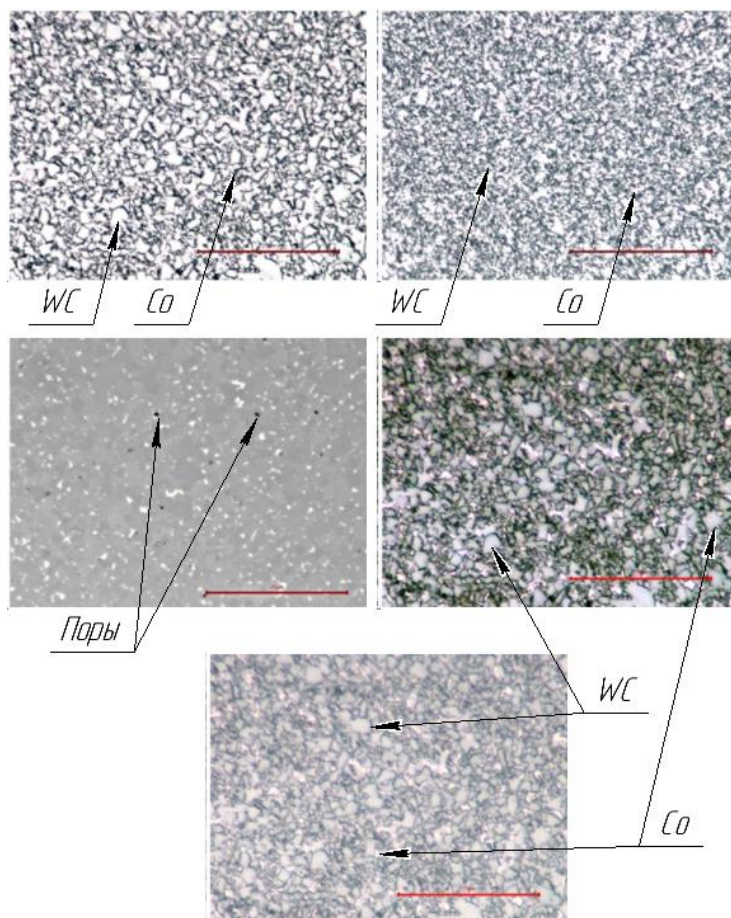


Рисунок 1 – Микроструктура исследуемого шлама, x1000

Результаты микроструктурного и фазового анализа показали формирование тугоплавкого каркаса из карбидных фаз, что показано на рисунке 1.

Установлено, что экспериментальный образец структурно близок стандартному сплаву ВК10.

Список литературы

1 Самойлов, В. С. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский; под ред. И. А. Ординарцев. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

2 Баженов, М. Ф. Твердые сплавы: справочник / М. Ф. Баженов, С. И. Байчман, Д. Г. Карпачев; под ред. М. Ф. Баженова. – М.: Металлургия, 1978. – 184 с.

3 Фальковский, В. А. Твердые сплавы / В. А. Фальковский, Л. И. Клячко. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 419 с.

4 ВК ТК – вольфрам, молибден, медь [Электронный ресурс] // Permet.ru : сайт. – URL: https://permet.ru/вк_тк/?ysclid=mbkvnuzj4330355406 (дата обращения 06.08.2025)

5 Патент RU2643291C1 Способ переработки кусковых отходов твердых сплавов [Электронный источник] Российская Федерация – опубл. 31.01.2018, – 5 с. URL : <https://patents.google.com/patent/RU2643291C1/ru> (дата обращения 05.05.2025)

6 Патент KR20110029853A Способ переработки отходов цементированного карбидного [Электронный источник]: Республика Корея – опубл. 23.03.2011. – 16 с. URL : <https://patents.google.com/patent/KR20110029853A/en?q=KR20110029853A#patentCitations> (дата обращения 05.05.2025)

7 Патент RU2110590C1 Способ переработки карбидных отходов твердых сплавов [Электронный источник]: Российская Федерация – опубл. 10.10.1998. – 5 с. URL : <https://patents.google.com/patent/RU2110590C1/ru?q=RU2110590C1> (дата обращения 05.05.2025)

8 Гропянов, А.В. Порошковые материалы: учебное пособие / А.В. Гропянов, Н.Н. Ситов, М.Н. Жукова ; ВШТЭ СПбГУПТД. – Санкт-Петербург, 2017. – 74 с.

9 Осокин, Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия : курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. Красноярск : ИПК СФУ, 2008 – 421 с. ISBN 978-5-7638-1523-8

10 Беляев, А.В. Модернизация твердомера типа ТП по Виккерсу [Электронный ресурс] А.В. Беляев, И.В. Юршев, Д.Б. Искандеров, А.Г. Ворников, Е.А.

Карпов// Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы XI Всерос. конф., Оренбург, нояб. 2023 г. / Оренбург. гос. ун-т ; гл. ред. А. И. Сергеев. – Оренбург : ОГУ, 2023. – С. 528-533.

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Юрьев Д.А.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Оренбургский государственный университет»**

Аннотация: в статье рассмотрен технологический процесс предприятия, его производственные ресурсы. Выявлены существующие программные продукты для автоматизации учета ресурсов, а так же уже используемые на предприятии.

Ключевые слова: технологический процесс, ресурсы, автоматизация.

Рассмотрим структуру технологического процесса учета производственных ресурсов промышленного предприятия.

Первым этапом является поступление заявки на технологическое присоединение. По данной заявке инженер выезжает на замеры и принимает решение по техническим решениям и составляет параметры технологического присоединения. По данным параметрам инженер производственно-технического отдела разрабатывает протокол технологического присоединения, приложение с планом трассы и карту объекта. Далее по данным документам сметчиком производится предварительный расчет стоимости для заявителя. Заполняется справка стоимости, и предоставляется заявителю. Если заявителя устраивает стоимость, то с ним заключается договор. По результатам договора сметчик подготавливает смету к торгам. Проходят торги по определению подрядчика. Заключается договор с подрядчиком. Подрядчик разрабатывает проектную и сметную документацию. Следующим этапом производится экспертиза проекта и устранение замечаний подрядчиком. Далее в установленный договором срок подрядчиком производится стройка. По завершении стройки подрядчик составляет акты о приемке выполненных работ подтверждающие достоверность его работы. Подрядчиком предоставляется исполнительная документация. При наличии всех перечисленных документов и выполненных строительных работах без нарушений, производится оплата подрядчику по договору. Схема технологического процесса представлена на рисунке 1.

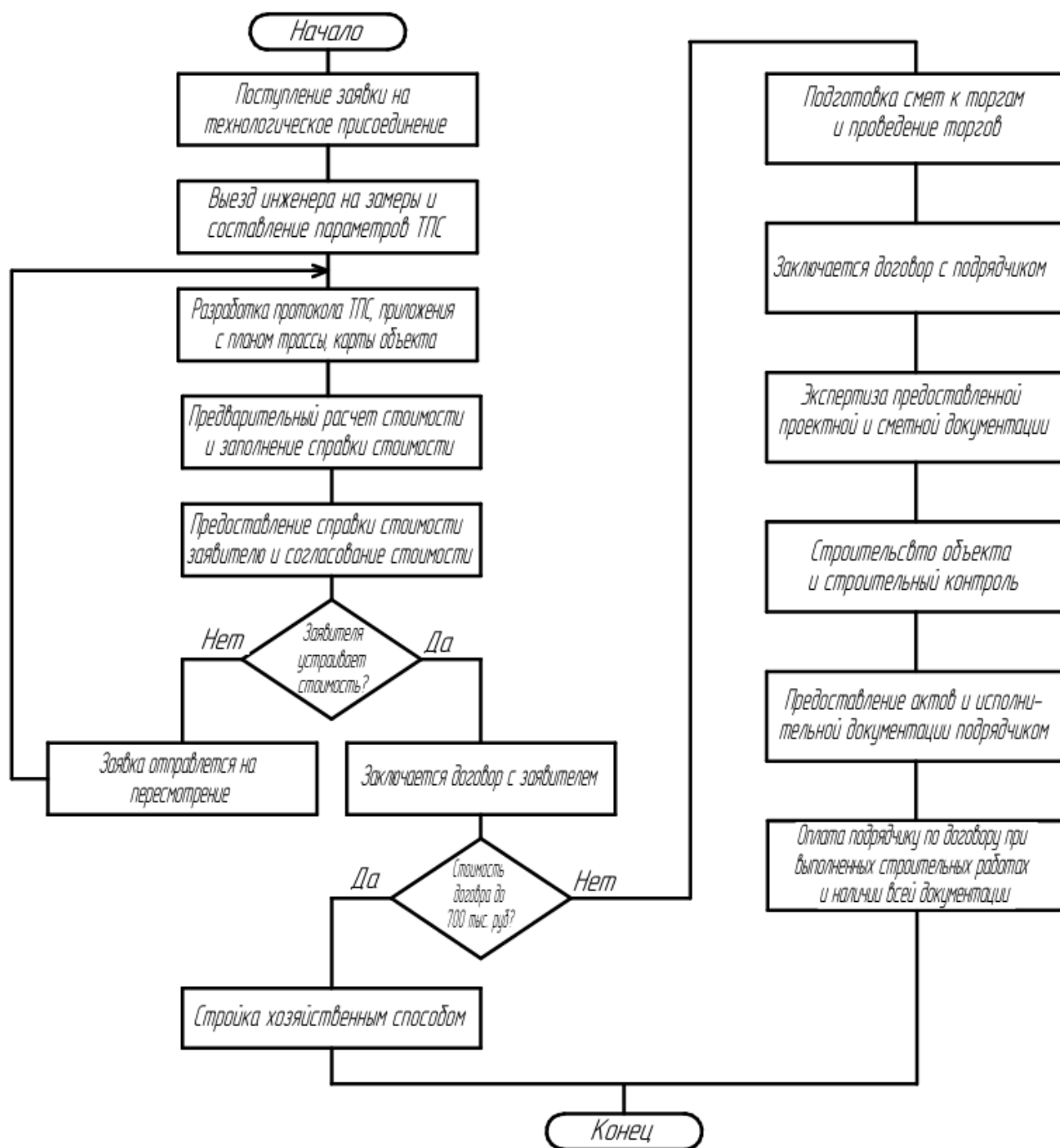


Рисунок 1 – Схема технологического процесса

Под производственными ресурсами предприятия в данном случае понимается: протокол технологического присоединения (ТПС), приложение к протоколу ТПС, карта объекта, укрупненный сметный расчет, договор с заявителем, договор между предприятием и подрядчиком, проектная и рабочая документация, акты о выполненных работах, исполнительная документация. Все эти ресурсы обладают самыми различными параметрами, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры производственных ресурсов предприятия

Ресурс	Параметры	Ресурс	Параметры
Протокол технологического присоединения (ТПС)	1) номер протокола; 2) дата составления; 3) технические условия; 4) требования к оборудованию; 5) подписи ответственных лиц	Приложение к протоколу ТПС	1) перечень оборудования; 2) план трассы и схемы подключения; 3) расчетные нагрузки; 4) обоснование выбора принятых технических решений
Укрупненный сметный расчет	1) перечень работ; 2) объемы работ; 3) стоимость материалов; 4) трудозатраты; 5) накладные расходы; 6) итоговая стоимость; 7) дата составления и подпись сметчика	Договор между предприятием и заявителем	1) реквизиты сторон; 2) предмет договора; 3) стоимость работ; 4) сроки выполнения; 5) ответственность сторон; 6) условия оплаты; 7) подписи и печати
Договор между предприятием и подрядчиком	1) реквизиты сторон; 2) перечень работ; 3) сроки выполнения; 4) стоимость работ; 5) гарантии качества; 6) условия оплаты; 7) ответственность сторон; 8) подписи и печати	Проектная и рабочая документация (ПДиРД)	1) чертежи и схемы; 2) спецификации на оборудование; 3) пояснительная записка; 4) расчеты нагрузок, устойчивости; 5) согласования пересечений коммуникаций; 6) дата утверждения ПДиРД
Акты о выполненных работах	1) номер акта; 2) дата составления; 3) перечень выполненных работ; 4) объемы работ; 5) стоимость работ; 6) подписи сторон	Исполнительная документация	1) исполнительные схемы; 2) акты освидетельствования скрытых работ; 3) сертификаты на МТР и оборудование; 4) протоколы испытаний; 6) исполнительная съемка

Проведем анализ программных продуктов, которые могут использоваться на предприятиях для автоматизации учета производственных ресурсов. В настоящий момент существует множество различных программ позволяющих осуществлять автоматизацию управления предприятием. Наиболее современные и популярные из них представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Наиболее популярные и современные программные продукты управления предприятием

Категория программ	Назначение	Примеры программ
ERP-системы	Комплексное управление ресурсами предприятия (финансы, производство, снабжение, продажи, персонал). ERP-система — конкретный программный пакет, реализующий стратегию ERP	1) 1C:ERP Управление предприятием 2) Лоцман:PLM 3) Microsoft Dynamics 365
MES-системы	Предназначены для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства. MES-системы относятся к классу систем управления уровня цеха, но могут использоваться и для интегрированного управления производством на предприятии в целом.	1) 1C:MES 2) ФОБОС 3) Siemens SIMATIC IT
SCM-системы	Управление цепочками поставок - управленческая концепция и стратегия, заключающаяся в интегрированном подходе к планированию и управлению всем потоком информации о сырье, материалах, продуктах, услугах, возникающих и преобразующихся в логистических и производственных процессах предприятия, нацеленном на совокупный экономический эффект.	1) SAP SCM 2) Oracle SCM Cloud 3) Visary SCM от «БизнесАвтоматика»

Данные программные продукты имеют достоинства и недостатки.

К достоинствам можно отнести соответствие международным стандартам, возможность интеграции с другими системами, масштабируемость.

К недостаткам относятся высокая стоимость, сложность внедрения, высокий уровень квалификации персонала, жесткость систем, высокие требования к оборудованию.

Выбор программного продукта для каждого конкретного предприятия и процесса является индивидуальной задачей и зависит от таких факторов, как: размер предприятия, отрасли, специфика бизнес-процессов, бюджет предприятия.

Так же рассмотрим программные продукты, используемые на данном предприятии в данный момент. Они представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень программных продуктов, используемых на предприятии

Программный продукт	Назначение	Используемые на данном предприятии функции
Microsoft Excel	Обработка числовых данных, их организация и представление в виде таблиц	Составление таблиц по объектам, укрупненный сметный расчет
Гранд-Смета	Автоматизация определения сметной стоимости строительства и учёта выполненных работ	Проверка сметной документации к проекту от подрядчика
1С: Предприятие	Автоматизация любого бизнес-процесса предприятия	Занесение в базу данных договоров и заявок

Как видно из сложившейся ситуации, функционала уже используемых программных продуктов не достаточно для автоматизации учета ресурсов нашего предприятия. При этом сложность и большая стоимость уже существующих программных продуктов от известных фирм не позволяет внедрить их в технологический процесс нашего предприятия. Поэтому возникла необходимость разработать собственное программное обеспечение, которое позволит автоматизировать учет производственных ресурсов предприятия, упростит и ускорит работу с данными.

Список литературы

1 Ивлёв, А.В. Автоматизация процесса управления ресурсами промышленного предприятия / А.В. Ивлёв. – Москва: Форум, 2010. – 123 с.

2 Бакаев, А.А. Методы организации и обработки баз знаний / А.А. Бакаев, В.И. Гриценко, Д.Н. Козлов. – Киев: Наукова думка, 1993. – 148 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧАСТКА СКОРОСТНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ

Юсупов М.Е.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в статье рассматривается автоматизация участка скоростной укладки продукции с применением дельта-робот, управляемого программируемым логическим контроллером (ПЛК). Рассматриваются виды промышленных роботов. Приводится разработка автоматизированного участка, включающего конвейерную систему, системы управления и диагностики. Подчеркиваются ключевые преимущества роботизированной укладки продукции по сравнению с ручной.

Ключевые слова: автоматизация, дельта-робот, ПЛК, роботизированная укладка.

Современные производственные линии требуют высокой скорости и точности укладки продукции. Достижение этих показателей вручную сопряжено с большими затратами на трудовые ресурсы, снижением производительности и увеличением риска брака, что делает автоматизацию данного процесса экономически и технологически оправданной. Применение роботизированных систем в таких условиях позволяет не только снизить затраты, но и обеспечить гибкость производства, улучшить санитарно-гигиенические условия и повысить надёжность технологического процесса.

Роботизированная укладка обеспечивает не только повышение эффективности производства, но и значительную гибкость, особенно в серийном производстве. Такая система легко адаптируется к изменениям в продукции, позволяя быстро перенастраивать оборудование для работы с различными типами установок и габаритами изделий. Кроме того, компактность размещения роботов способствует более рациональному использованию производственных площадей, что особенно важно для предприятий с ограниченным пространством [5].

Данная технология широко применяется на предприятиях пищевой промышленности, включая производство замороженных продуктов, хлебобулочных и кондитерских изделий, а также переработку мясных и рыбных продуктов, изготовление сыров и других категорий продуктов. Возможность автоматизации этих процессов позволяет снизить зависимость от ручного труда, улучшить условия работы сотрудников и минимизировать потери продукции за счёт устранения

погрешностей, связанных с человеческим вмешательством. Сравнительные данные, показывающие преимущества, которые получает производитель при установке робота на участке укладки продукции, представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Отличия ручной и роботизированной укладки продукции

Ручная укладка	Роботизированная укладка
Операции выполняются медленно	Операции достигают максимальных значений
Возможны дефекты и порча продукции при упаковке	При упаковке повреждения сводятся к минимуму
Вручную выполненные операции не всегда зависят от производительности и могут приводить к неэффективным затратам	Производительность гибкая
Сложнее адаптация к новой продукции	При автоматизированной упаковке предусмотрена возможность интеграции новых товаров уже на этапе их проектирования
Вручную собранные данные сложно использовать для всестороннего анализа	Автоматизированные системы предоставляют массу точных данных для анализа
Требуется специальное оборудование для обеспечения безопасности сотрудников	Автоматизация позволяет сократить пространство рабочих зон, а в некоторых случаях требует только защищённого помещения
Ручной труд не всегда может соответствовать санитарным нормам	Автоматизированный процесс обеспечивает полное соответствие нормам гигиены
Человеческий фактор	Ошибки по заполнению упаковки сводятся к минимуму

Автоматизированные системы могут использовать различные виды промышленных роботов, среди которых выделяются координатные, шарнирно-сочленённые, SCARA-роботы, картезианские манипуляторы и параллельные роботы. Параллельные роботы, к которым относится дельта-робот, обеспечивает высокую скорость работы и точность позиционирования благодаря своей особой конструкции. Координатные роботы отличаются высокой скоростью и жесткостью, но имеют ограниченную скорость работы. Шарнирно-сочленённые роботы обладают высокой степенью свободы, но требуют значительного пространства

для работы. SCARA-роботы применяются для быстрых сборочных операций, однако их конструкция ограничивает гибкость применения. Картезианские роботы работают в прямоугольной системе координат, но обладают меньшей манёвренностью [1].

В данной работе выбор пал на дельта-робот, поскольку он имеет высокую скорость, точность позиционирования, компактность и энергоэффективность. Его параллельная кинематика позволяет достигать высокой цикличности операций при минимальном потреблении энергии. Кроме того, дельта-роботы отличаются высокой надёжностью и устойчивостью к внешним воздействиям, что делает их подходящим для интенсивных производственных процессов [1]. Эти особенности делают их оптимальным решением для автоматизированных систем, требующих высокой производительности при минимальных энергозатратах. В сравнении с альтернативными решениями дельта-робот демонстрирует наилучший баланс между производительностью, затратами на эксплуатацию и удобством интеграции в технологический процесс [3].

При выборе материала, из которого будут сделаны подвижные части дельта-робота, важно учитывать его механические свойства, массу и эксплуатационные характеристики. Дельта-роботы могут быть изготовлены из различных материалов, таких как алюминий, углеродное волокно, композитные материалы, нержавеющая сталь. В данной работе выбор пал на графит, поскольку он обладает высокой жесткостью при низкой массе, что позволяет снизить нагрузку на приводы и увеличить скорость работы манипулятора. Кроме того, графит характеризуется низким коэффициентом трения, устойчивостью к износу и внешним воздействиям, что увеличивает срок службы механизма. Использование этого материала также способствует повышению энергоэффективности системы за счёт минимизации инерции подвижных частей.

Автоматизированный участок включает дельта-робота, конвейерную ленту, управляемые программируемым логическим контроллером, сенсорный датчик и панель оператора. Робот осуществляет захват, перемещение и укладку продукции, анализируя данные о наличии изделия на конвейере с датчиков, а их точное положение вычисляется программно. В коде программы, которая загружена на ПЛК, используется функциональный блок, в котором задаются скорость движения конвейера, координаты его начала и положение продукции относительно начальной точки конвейерной ленты. Оптимизация алгоритма укладки достигается путём адаптивного управления скоростью и применения методов интерполяции, что минимизирует время обработки [2]. Сенсорная панель позволяет оператору контролировать работу системы и настраивать параметры произ-

водственного процесса. Для повышения эффективности работы системы предусмотрена возможность диагностики технического состояния узлов робота и его программной корректировки без остановки производственного процесса.

Список литературы

1. Глазунов, В. А. Пространственные механизмы параллельной структуры / В. А. Глазунов, А. Ш. Колискор, А. Ф. Крайнев. – Москва: Наука, 1991. – 95 с.
2. Колтыгин, Д. С. Методика разработки программы управления роботом для робота-манипулятора Delta / Д. С. Колтыгин, И. А. Седельников // Научный вестник НГТУ. – 2018. – Т. 70, № 1. – С. 103-116.
3. Корнилов, И. Робот на пищевом производстве: возможности и перспективы / И. Корнилов // Control Engineering Россия. – 2020. – Т. 88, № 8. – С. 22-25.
4. Рахманкулов, В. З. Робототехника и гибкие автоматизированные производства / В. З. Рахманкулов, В. П. Лещинский, С. В. Манько. – Москва: Высш. шк., 1986. – 176 с.
5. Тывес, Л.И. Механизмы робототехники. Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений / Л. И. Тывес. – Москва: Ленанд., 2018. – 204 с.