СЕКЦИЯ 9

«НАУЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН Абдрашев А.К., Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент 1688

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ Акимов С.С., канд. техн. наук, Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент 1693

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ S390 Аминова Э.Р., Лаптева Е.В. 1697

ИТТЕРБИЕВЫЕ ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ Аркадьев В.А., Шкодских И.А., Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Юршев И.В. 1705

МЕТОДОЛОГИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ Архапчева М.В., Акимов С.С., канд. техн. наук 1709

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОВЕРКИ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ Балабанов М.Д., Смольский Ю.А., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1712

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВИБРАЦИИ Баранова А.М., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент..... 1715

ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ Барбашина О.В., Мешкова Л.А., Репях В.С., канд. техн. наук, доцент, Гасанова А.В., Неплях Ю.Б. 1718

ТЕХНОЛОГИЯ ГЛУБОКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ Барыба В.Р., Барыба Ю.А., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент..... 1722

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧАСТКА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ Бигалиев А.А., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1725

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОХРАНЫ ТРУДА Валиуллина Ж.Р., Столыпина М.А., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент 1728

ГИПЕРЗВУКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ: ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ВЛИЯНИЕ НА СТРАТЕГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ [1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Панов В.Д., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук,

доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1732

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЖИВУЧЕСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ БПЛА В СЛОЖНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ [1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1736

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ [1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1740

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ШЛЮЗА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В САПР КОМПАС-3D Васильченко Ф. В., Решетов С. Ю., канд. техн. наук, доцент 1744

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ ДЛЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ И МАЛЫХ КОРАБЛЕЙ [1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1749

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Кабардин А.В. 1753

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Марченко А.В. 1757

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ИЗДЕЛИЙ ПЕРЕД КОНТРОЛЬНЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Ноздрюхин Е.В. 1761

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ Геллеверя М.В., Столыпина М.А. 1764

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ КОМПРЕССОРОВ Гребенюк А.Ю., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент 1769

ПОВЫШЕНИЕ МЕТРИК СИАМСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ Греков М.В., Боровский А.С., д-р техн. наук, профессор 1773

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ CART-РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ И ДИАПАЗОНОВ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА РНР Гуньков С.А., Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор 1777

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ГАЗОПОРШНЕВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С СЕТЬЮ Гурылёв В.С., Русяев А.С., канд. техн. наук 1781

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВОГО СБЫТА Дникешев А.А., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1785

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ Евтеев Е.В. 1789

ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ Ерёмин К.Н., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент..... 1792

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА Ерёмин К.Н., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент..... 1799

РОЛЬ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГАЗОДИНАМИКЕ И БАЛЛИСТИКЕ ПРИ СОЗДАНИИ РЕАКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ [1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1804

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ МОРСКИХ БПЛА И УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК [1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1808

ЭВОЛЮЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК: ОТ «БУЛАВЫ» К КОМПЛЕКСАМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ [1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1812

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СТОИМОСТИ ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЧЕРЕЗ МИНИМИЗАЦИЮ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ [1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор..... 1816

ЭФФЕКТ МАГНУСА КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ: ОТ «ПРЫГАЮЩЕЙ БОМБЫ» К ПЕРСПЕКТИВНЫМ АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ [1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент,

Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1820

АКТУАЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ Жуков В.К., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент 1824

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ КАРТ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Жумашева Б.К., Акимов С.С., канд. техн. наук 1829

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА Загребнев М. М. 1833

КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ: ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА Захватов Д.М., Максюков С.В., Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент 1837

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГАЗОСБОРНОГО ПУНКТА Имангалиев С.С., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1842

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Калягин М.В., Аманжулов Д.Р., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1845

ПОДОГРЕВАТЕЛИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА Карасев К.С., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент 1848

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «БАЛКА ДЕРЖАТЕЛЯ» Каретников Д.А., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1851

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА Каскинов И.З., Болдырев П.А., канд. техн. наук, доцент, Поляков А.Н., д-р техн. наук, профессор 1855

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Кашаев С.А., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент 1859

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПАЙКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ Кравченко Н.Е., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1862

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖГУТОВ: СНИЖЕНИЕ ОТХОДОВ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ Кривошеева И.М., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1866

КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Лагунова Ю.А., Барыба В.Р., Кондусова В.Б., д-р техн. наук 1869

РАЗВИТИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ СПЕЦИФИКАЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ ГОСТ 2.108–2021 Лазарев К.Е., Трипкош В.А., канд. техн. наук, доцент 1873

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА Левочкин И. Е., Галина Л. В., канд. техн. наук, доцент 1878

ИНТЕГРАЦИЯ OT/IT-ИНФРАСТРУКТУРЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ Лухтина О.С., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент 1882

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РЕЗЕРВУАРА РВС-3000 ДЛЯ ХРАНЕНИЯ АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА Людвиг К.П., Клещарева Г.А. канд. техн. наук, доцент 1886

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА [1]Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор 1889

БУДУЩЕЕ ЗА МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕМ: ПОЧЕМУ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗМЕНЯЮТ МИР Максюков А.В., Захватов Д. М., Свиденко Е.В., канд.техн. наук, доцент 1892

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10-ХОМ Максюков А.В., Захватов Д. М., Свиденко Е.В., канд.техн. наук, доцент 1897

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СВАРНЫХ АРМАТУРНЫХ КАРКАСОВ Марусич К.В., канд. техн. наук, доцент, Бондаренко Н.Д. 1903

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА Матушкин И.С., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1909

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМИ РИСКАМИ Махметова К.М., Боровский А.С., д-р техн. наук, профессор 1912

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРУЮЩЕЙ СТАНЦИИ МЕТАНОЛА Морозов А.А., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1917

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУРОВЫХ УСТАНОВОК Непейн А. В., Сергеев А. И., д-р техн. наук, профессор 1920

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ДОСТИЖЕНИИ ТЕПЛОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ Поляков А. Н., д-р техн. наук, профессор, Никитина И. П., канд. техн. наук, доцент 1924

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЕЛОВОЙ КОММУНИКАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО РАСЧЕТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Руппель В. В. 1932

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Руппель В.В. 1937

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАЛОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА Рыжков Д.С. 1941

ОБРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ ТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Вежняев В.Б., Григорьев Д.С. 1944

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДОГО СПЛАВА К8 Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Вежняев В.Б., Григорьев Д.С. 1947

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ АНОДНОГО СЛОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ Сейтаты И.С., Симонова А.В., Степанов А.Д. 1952

АФАНАСИЙ ШАБСКИЙ – ВЫДАЮЩИЙСЯ РОССИЙСКИЙ ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР И ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬ Семенов В.Г., канд. ист. наук, доцент 1958

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО П6330 ПУТЕМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЕГО ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ Серов Д.А., Клещарева Г.А, канд. техн. наук, доцент 1964

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ Смольский Ю.А., Балабанов М.Д., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1970

ЛОГИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ АРХИВА Столыпина М.А., Валиуллина Ж.Р., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 1974

ГИБРИДНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент, Сагдеев Н.Р. 1979

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ Тарасов С.В., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент 1982

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН:PLM» В ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ОТ ИЗУЧЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ПРОЕКТНОГО ПОРТФОЛИО Торохтий В.В., Сергеев А.И., д-р техн. наук, профессор 1986

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ Трофимов А.Г., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент 1990

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНООБРАБОТКИ ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ IIoT-РЕШЕНИЙ В КОНТУР АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ Трохов А.А., Пищухин А.М., д-р техн. наук, профессор 1993

ПРОЦЕСС НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОГО КАУСТИКА НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ Удалов Д.А., Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент 1998

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ Ульянова Т.С., Акимов С.С., канд. техн. наук 2002

ОБЗОР СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА Уразгалиев М.К., Шерстобитова В.Н. канд. техн. наук, доцент 2006

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ Филь В.Ю., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент..... 2011

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТПУСКНОЙ ХРУПКОСТИ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ 40ХН Черникова В.Ф. 2016

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА Чибилев А.А. 2020

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ХИМИЧЕСКОЙ ПАССИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ Шмыкова Л.Н., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент 2028

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНОГО МЕТОДА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ Шумилин В.А. 2031

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛЬТА-РОБОТОМ В ЗАДАЧЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ Юсупов М.Е., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент 2035

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН

Абдрашев А.К., Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Для изготовления ножей с заданными эксплуатационными характеристиками необходимо использовать высоколегированные стали и определенные режимы термической обработки, обеспечивающие в готовых изделиях мелкодисперсную, однородную структуру и необходимое соотношение аустенита, мартенсита и карбидных включений. Это необходимо для обеспечения высокой прочности ножей в условиях ударных нагрузок, и, что важно, сохранения высокой остроты режущего лезвия ножа в процессе эксплуатации.

Плоские гильотинные ножи изготавливают из специальных сталей: 6ХС, 8ХФ, 9ХС, 5ХНВС, Х12М. После придания лезвию ножа необходимой формы следует выполнить его термическую обработку. В ходе термической обработки режущей поверхности ножей придаётся необходимая твёрдость и прочность. Если он используется для холодной резки металла, то он имеет твёрдость 52–58 HRC. Если нож предназначен для резки горячего металла тут твёрдость 42–50 HRC.

Высокохромистая сталь Х12М характеризуется значительными показателями прокаливаемости и износостойкости. Эта сталь нашла применение при изготовлении крупногабаритных инструментов, имеющих сложную форму и работающих в условиях динамических нагрузок при повышенных температурах: штампы чеканные, отрезные, вырубные; накатные ролики, ножи гильотин и так далее. Содержание химических элементов стали Х12М представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали Х12М

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	V
1.45 – 1.65	0.15 – 0.35	0.15 – 0.4	до 0.03	до 0.03	11 – 12.5	0.4 – 0.6	0.15 – 0.3

В значительной степени на структуру и свойства стали Х12М влияют параметры термической обработки. Повышение температуры закалки увеличивает растворимость карбидов и концентрацию в аустените таких элементов, как хром и углерод.

При восстановлении деталей машин могут применяться наплавочные материалы, дающие в наплавленном слое структуру аналогичную стали Х12М.

Наплавка стали Х12М сопряжена с технологическими трудностями, обусловленными высоким содержанием в ней углерода. В частности, высока вероятность образования холодных и горячих трещин в наплавленном слое и основ-

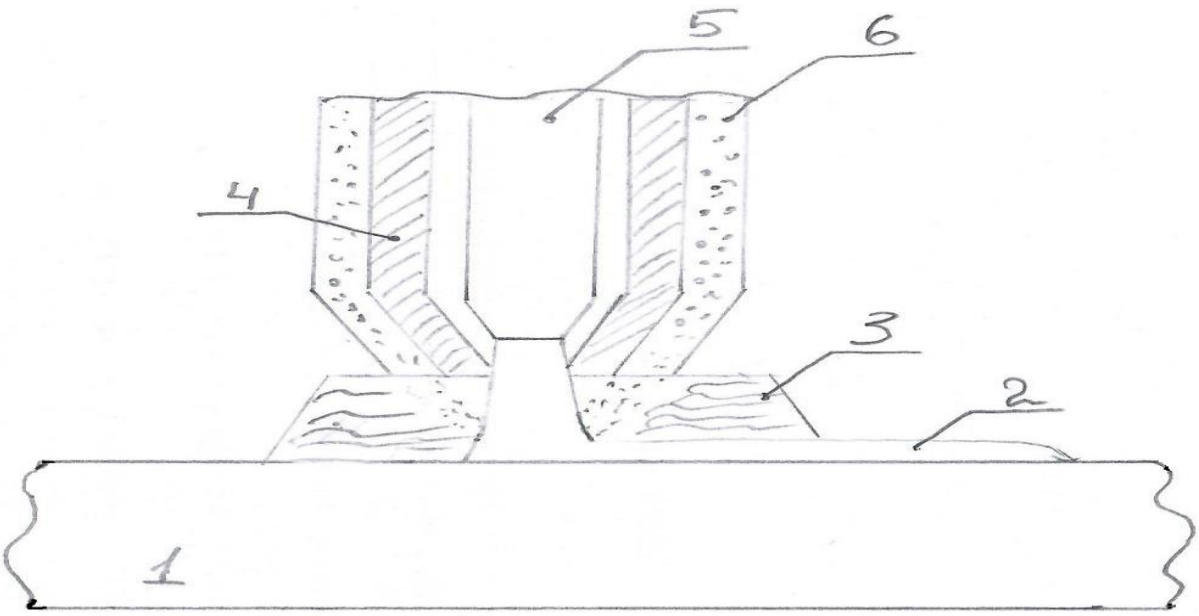
ном металле. Предварительный подогрев деталей до температуры 400 °С – 550 °С и последующие медленное охлаждение позволяет предотвратить образование холодных трещин. Но опасность возникновения горячих трещин сохраняется. Горячие трещины в стали Х12М возникает из-за выделяющихся при кристаллизации карбидных эвтектик, которые имеют малую температуру плавления. Однако, при увеличении содержания в стали углерода более 1,5 % горячие трещины уже не возникают. Причиной этого является увеличение образующей легкоплавкой эвтектики, свободно перемещающейся между дендритами, способствующей «залечиванию» образующихся горячих трещин [1].

Наплавленный слой при наплавке стали Х12М обладает относительно малой твёрдостью, составляющей 40 – 44 HRC, что объясняется значительным количеством остаточного аустенита в структуре наплавленного металла. Чтобы обеспечить возможность механической обработки изделий после наплавки, выполняют его отжиг по изотермическому циклу с температурой нагрева 870 °С – 900 °С и последующей выдержкой в течение 1 – 2 часов, охлаждением вместе с печью до температуры 700 °С и выдержкой 5 – 8 часов. После такого отжига твёрдость наплавленного слоя уменьшается до 25 – 29 HRC, что делает возможным механическую обработку изделия. Увеличение твердости до 55 – 60 HRC достигается применением высоко отпуска, температура нагрева при котором составляет 500 °С – 550 °С.

Анализ параметров технологичности, обеспеченный различными способами наплавки деталей машин, показывает, что плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена в соответствии с рисунком 1, обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и вибродуговой наплавкой. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий. Плазменная наплавка с внесением порошка в плазменную струю характеризуется значительной производительностью наплавки, которая может достигать 6 кг/час.

Также применение плазменной наплавки позволяет существенно снизить потребление наплавочного порошка по сравнению с другими способами восстановления деталей машин [2]. Кроме того, при плазменной наплавке помимо дорогостоящих порошков на основе никеля и кобальта могут применяться существенно более дешёвые порошки на основе железа.

Необходимо также отметить, что плазменная наплавка порошками особенно эффективна при малой толщине наплавляемого слоя. Перечисленные преимущества не только существенно расширяют технологические возможности, но и позволяют получать значительный экономический эффект. За счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления сохраняются первоначальные физико–механические свойства основного металла при меньшем количестве наплавочного материала. Данная технология дает возможность изготовления деталей из низкоуглеродистых сталей с поверхностями, упрочненными твёрдыми сплавами. При применении износостойких порошковых сплавов, повышается срок службы наплавленных деталей [2].



1– основной металл; 2 – наплавленный слой; 3 – защитный газ;
4 – охлаждение; 5 – электрод; 6 – порошок и транспортный газ.
Рисунок 1 – Схема плазменной наплавки

Технология плазменной наплавки ножей для резки металла предусматривает в качестве расходных материалов применение наплавочного порошка в среде защитного газа. Применительно к рассматриваемому изделию выбрано четыре наплавочных порошка: ПР – Х12МФ, ПР – Х12МФ3Т, ПР – 10Р6М5 и ПР – Х3ВМФ5С.

Состав порошков приведен соответственно в таблицах 2-5.

Таблица 2 – Состав порошка ПР – Х12МФ

	Fe	C	Cr	Mo	V	Mn	Ni
ПР-Х12МФ	Осн.	1.5	12	0.5	0.3	0.4	0.4

Таблица 3 – Состав порошка ПР – Х12МФ3Т

	Fe	C	Cr	Mo	V	Ti	Mn	Ni
ПР – Х12МФ3Т	Осн.	2.2	12	0.5	3	0.08	0.6	0.4

Таблица 4 – Состав порошка ПР – 10Р6М5

	Fe	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni
ПР – 10Р6М5	Осн.	1	4	6.5	5	2	<0.5	0.55	0.4

Таблица 5 – Состав порошка ПР – Х3ВМФ5С

	Fe	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni
ПР – Х3ВМФ5С	Осн.	1.3	3	1.5	1.5	5	0.8	0.5	0.4

Использование плазменной наплавки с внесением наплавочного порошка, является оптимальным выбором по сравнению с другими способами восстановления. Данный способ является приоритетным, так как при восстановлении используется наплавочный порошок. На рисунке 2 рассмотрены несколько видов порошков. Анализ свойств показывает большой диапазон в технологических параметрах и цене.

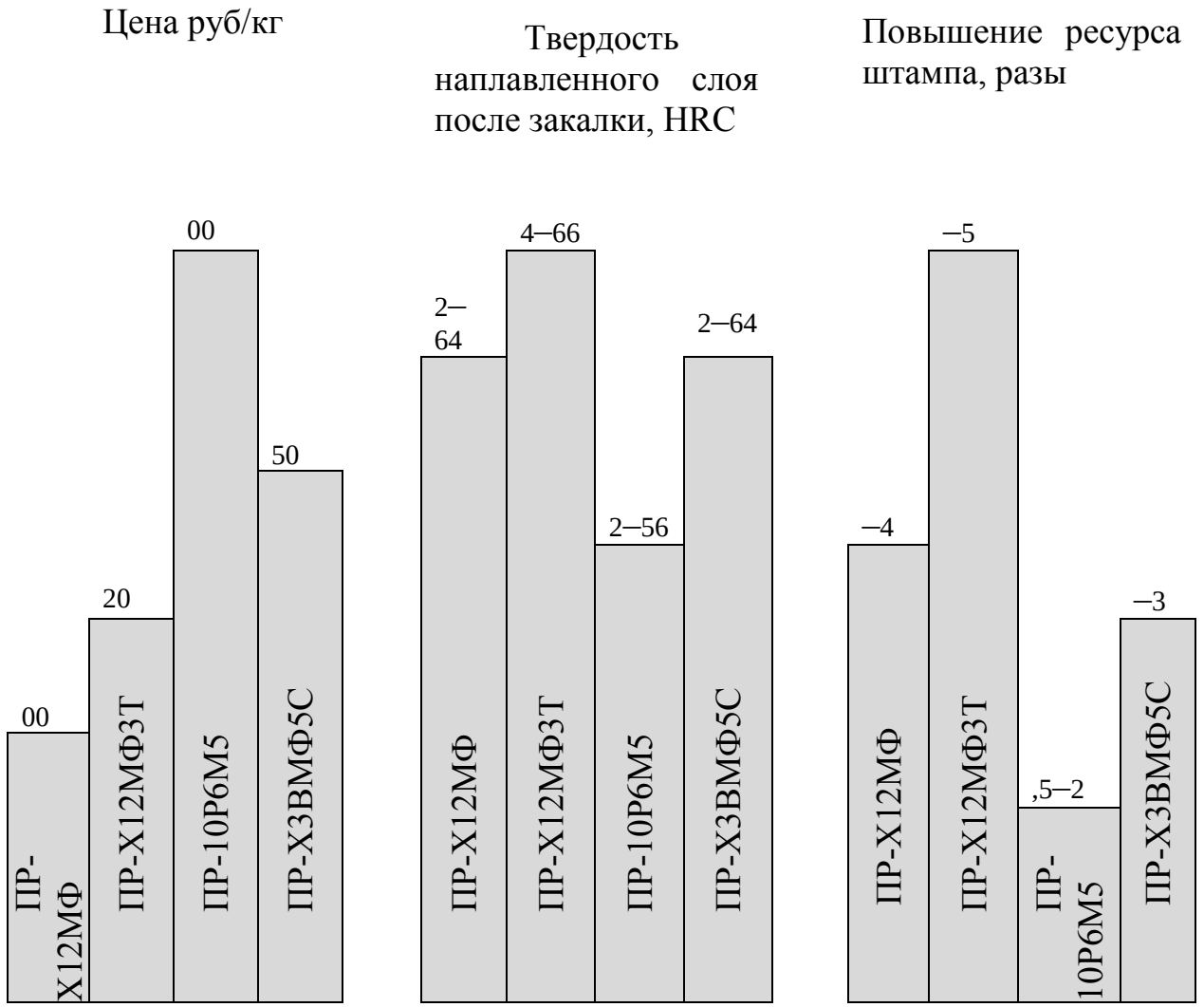


Рисунок 2 – Сравнительный анализ эффективности наплавочного порошка

Оптимальным порошком для использования является порошок ПР – Х12МФ3Т. Из представленных образцов по составу имеются все необходимые составляющие для эффективного процесса наплавки. После термической обработки образец приобретает оптимальную твердость, которая позволяет дальнейшую механическую обработку без лишних затрат. Доступная цена в современных условиях – одна из главных критерий выбора.

Список литературы

1 Смирнов, И. В. Сварка специальных сталей и сплавов: учебное пособие / И. В. Смирнов. – Тольятти: ТГУ. 2007. – 301с.

2 Власов, В. М. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла / В. М. Власов, Л. М. Нечаев, Н. Б., Фомичева, Е. В. Фомичева // Соврем. наукоемкие технологии. – 2004. – №1. – С. 9–11.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

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

Современный технологический уклад, определяемый концепцией Индустрии 4.0, фундаментально трансформирует подходы к управлению и мониторингу сложных систем. Особую актуальность эти изменения приобретают в биотехнической сфере, где необходимо управлять объектами, сочетающими техническую сложность, стохастичность биологических процессов и высокие требования к экономической эффективности. Мониторинг – непрерывный сбор, анализ и интерпретация данных о состоянии системы – перестает быть пассивным наблюдением и становится активным инструментом предиктивного управления и поддержки принятия решений [1].

Цель исследования – анализ возможностей и эффективности применения современных технологий (IoT, машинного обучения, передовых методов визуализации) для задач мониторинга сложных биотехнических систем.

Сложные биотехнические системы характеризуются нелинейностью, стохастичностью, наличием обратных связей и зависимостью от множества взаимосвязанных факторов. Традиционные методы мониторинга, основанные на периодическом контроле ключевых параметров, неспособны обеспечить оперативное реагирование на быстро меняющиеся условия и предсказание потенциальных сбоев или снижения продуктивности.

Современная тенденция заключается в переходе к цифровым двойникам – виртуальным динамическим моделям физической системы, обновляемым в реальном времени [2].

Влияние технологий проявляется в следующих аспектах: во-первых, в непрерывности – сбор данных осуществляется круглосуточно и без перерывов. Во-вторых, в гранулярности – происходит переход от использования усреднённых показателей к индивидуальному мониторингу каждого робота или животного, что позволяет получать более точные и подробные данные. В-третьих, в предиктивности – благодаря использованию искусственного интеллекта появляется возможность прогнозировать возможные события, такие как отказ оборудования или заболевание животного, ещё до их наступления.

Приведем современные технологии для задач мониторинга.

1 Сенсорные сети и Интернет вещей (IoT).

IoT формирует «нервную систему» мониторинга. Сенсоры интегрируются в саму систему, создавая плотную сеть датчиков. В робототехнике наиболее перспективным в настоящее время является применение лидаров, камер (2D/3D), гироскопов, акселерометров, датчиков усилия и тока, что обеспечива-

ет навигацию, контроль выполнения операций и самодиагностику (например, износ манипулятора).

В животноводстве же широко распространены датчики активности (акселерометры в ошейниках или ножных браслетах), датчики температуры (внутренние или ушные), датчики pH и температуры рубца, мониторы жевания и приема воды, камеры компьютерного зрения [3].

Организация данных подразумевает использование шлюзов для агрегации сигналов с беспроводных сенсоров и передачу в облачные или локальные вычислительные платформы по стандартам LPWAN, Wi-Fi или сотовой связи.

2 Передовые методы обработки данных и машинное обучение.

Поток «сырых» данных от IoT требует интеллектуальной обработки [4]. Анализ больших данных позволяет выявлять скрытые корреляции между неявно связанными параметрами (например, связь между изменением активности, температурой в помещении и будущим надоем).

Алгоритмы (например, SVM, случайный лес) анализируют сенсорные данные для автоматической классификации состояния. Например, определение стадии эструса у коровы по данным активности или выявление аномалий в вибрациях двигателя робота. Методы временных рядов (ARIMA) и рекуррентные нейронные сети (LSTM) прогнозируют будущие значения ключевых показателей (прогноз надоев, вероятность выхода из строя подшипника). Компьютерное зрение на основе CNN (сверточных нейронных сетей) анализирует видеопотоки для оценки кондиции тела (BCS), обнаружения хромоты или контроля качества выполнения операции роботом.

3 Визуализация и интерфейсы для мониторинга.

Визуализация и интерфейсы для мониторинга – это ключевой инструмент, который превращает огромные потоки данных в понятную и полезную информацию для человека. Они помогают не просто видеть цифры, а быстро принимать правильные решения [5].

Основой современных систем мониторинга стали интерактивные платформы и дашборды. Их главная задача – показать общую картину, а при необходимости дать возможность углубиться в детали. Например, на главном экране фермы можно увидеть общую карту здоровья стада или статус всех роботов в режиме реального времени. Если оператор замечает проблемную зону – например, красный значок на одном из животных – он может в один клик перейти к подробным данным по этой корове: графики её активности, история кормления, показатели здоровья. Такой подход позволяет сразу оценить ситуацию и не теряться в массиве разрозненной информации.

Не менее важную роль играют системы умных оповещений. Раньше они просто сигнализировали, когда какой-то параметр выходил за установленный предел – например, если у коровы повышалась температура. Теперь же оповещения стали аналитическими. Система отслеживает не один показатель, а сразу несколько: снижение активности, изменение в поведении, падение надоев. Такие сообщения не просто информируют, а предлагают конкретные действия [6].

Для быстрой реакции оповещения интегрируются с мессенджерами, мобильными приложениями или SMS. Это позволяет специалистам получать сигналы мгновенно, где бы они ни находились. В самых продвинутых системах оповещения могут даже автоматически запускать определённые действия – например, скорректировать рацион животного через систему кормления или поставить робота в очередь на обслуживание.

Таким образом, современные интерфейсы для мониторинга выполняют три главные функции: наглядно отображают информацию, предупреждают о проблемах до их возникновения и помогают быстро на них реагировать. Они снижают нагрузку на персонал, уменьшают количество ошибок и переводят управление системами на более высокий уровень – от реагирования на уже случившееся к предупреждению возможных проблем.

4 Примеры внедрения технологий в конкретные системы.

Современный доильный робот – это сложная система мониторинга. Сенсоры и компьютерное зрение идентифицируют корову, оценивают положение сосков, контролируют процесс доения (скорость потока, электропроводность молока для выявления мастита), моют и дезинфицируют. Данные по каждой дойке агрегируются в панель управления, где оператор видит эффективность работы, статус обслуживания и получает предупреждения о необходимости вмешательства.

Платформы типа «умная ферма» интегрируют данные из IoT-сенсоров, доильных роботов, систем взвешивания и кормления. Алгоритмы машинного обучения строят индивидуальный «цифровой профиль» каждой коровы. Система в режиме мониторинга выявляет отклонения (например, снижение жвачки и подвижности), прогнозирует риск метаболических заболеваний и автоматически формирует рекомендации» [7].

5 Обоснование эффективности внедрения современных технологий.

Раннее выявление заболеваний (например, кетоза) на 2-3 дня раньше клинических проявлений снижает стоимость лечения и потери продуктивности.

Автоматизация мониторинга снижает нагрузку на персонал. Предиктивное обслуживание роботов минимизирует простои. Оптимизация кормления по индивидуальным показателям повышает конверсию корма.

Непрерывный мониторинг позволяет мгновенно реагировать на дискомфорт (жару, скученность), обеспечивать индивидуальный уход, что напрямую влияет на здоровье и продуктивное долголетие животных.

Проведенный анализ подтверждает, что современные технологии (IoT, большие данные, ИИ, передовые интерфейсы) кардинально повышают эффективность мониторинга сложных биотехнических систем. Они трансформируют его из инструмента регистрации в интеллектуальную основу для предиктивного и прецизионного управления.

Начинать внедрение следует с пилотных проектов, фокусируясь на решении одной конкретной задачи (например, мониторинг здоровья новотельных коров). Критически важно обеспечить качественную первичную настройку сен-

соров и систем сбора данных. Внедрение должно сопровождаться обучением персонала работе с новыми инструментами интерпретации данных.

В ближайшей перспективе ожидается конвергенция технологий мониторинга робототехнических систем и систем управления животными в единые киберфизические платформы «умной фермы». Дальнейшее удешевление сенсоров и рост вычислительных мощностей сделают прецизионный мониторинг стандартом для конкурентоспособных сельскохозяйственных и роботизированных предприятий, обеспечивая не только экономическую эффективность, но и новые стандарты благополучия и устойчивого производства.

Список литературы

1 Акимов, С. С. Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства / С. С. Акимов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 1. – С. 25-32.

2 Акимов, С. С. Технологии цифровых двойников для решения прикладных задач / С. С. Акимов, М. В. Архапчева // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы XII Всероссийской конференции, Оренбург, 13 ноября 2025 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 248-251.

3 Акимов, С. С. Разработка модели системы «корма-животные-продуктивность» с учетом кинетики микроэлементов / С. С. Акимов, А. С. Боровский // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 1(61). – С. 53-58.

4 Трипкош, В. А. Алгоритмы принятия решений для комбинированных систем автоматического распознавания образов / В. А. Трипкош, С. С. Акимов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), Оренбург, 23–25 января 2020 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2020. – С. 741-745.

5 Акимов, С. С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С. С. Акимов, И. П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11. – № 1(39). – С. 64-75.

6 Акимов, С. С. Алгоритм оценки продуктивности молочного скотоводства / С. С. Акимов // 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. 1466-1469.

7 Акимов, С. С. Разработка модели оценки элементного статуса организма для повышения эффективности молочного животноводства / С. С. Акимов, М. В. Архапчева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 9. – С. 61-63.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ S390

Аминова Э.Р., Лаптева Е.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В данной статье рассматривается влияние температуры спекания на микроструктуру и механические свойства быстрорежущей стали S390, полученной методом искрового плазменного спекания (ИПС), в диапазоне температур спекания от 930 °C до 1090 °C, при одноосном давлении 50 МПа и времени выдержки 5 минут. Результаты показали, что при повышении температуры спекания с 930 °C до 1090 °C улучшились показатели плотности, твёрдости, красностойкости и прочности при трёхточечном изгибе. Была проведена оценка влияния изменений микроструктуры, вызванных температурой, на улучшение свойств, таких как размер частиц порошка и морфология и диаметр карбидов. Образец с наилучшими комплексными механическими свойствами (67,1 HRC и 1196,67 МПа) был изготовлен при температуре 1050 °C методом сварки под флюсом. Коэффициенты износа снижались по мере повышения температуры спекания, а результаты исследования изношенных поверхностей тестовых штифтов подтвердили, что в экспериментах по износу преобладали абразивный и окислительный износ. Кроме того, был проиллюстрирован и проанализирован механизм износа плотной и пористой быстрорежущей стали с точки зрения наличия частиц и захваченных карбидов.

Цель этого исследования – выявить связь температуры спекания с микроструктурой, механическими свойствами и износостойкостью стали S390.

1 Материалы и методы

В данном исследовании использовались сферические порошки из быстрорежущей стали S390, полученные методом распыления в азотной среде. Размерные параметры порошков составляли 8,44 мкм для D_{10}, 32,35мкм для D_{50} и 117,11 мкм для D_{90}, а скорость потока в среднем составляла 18,7 с на каждые 50 г.

1.1 Искра-плазменное спекание и термическая обработка стали S390

Уплотнение порошка было достигнуто методом ИПС. Образцы (Ф 30 × 18 мм) были изготовлены при восьми различных температурах спекания, каждая из которых соответствовала одноосному давлению в 50 Мпа и времени выдержки в 5 минут: 930 °C, 950 °C, 970 °C, 990 °C, 1030 °C, 1050 °C, 1070 °C, 1090 °C. При одноосном давлении выше 50 МПа графитовые матрицы часто растрескиваются в процессе сверхвысокотемпературного спекания, поэтому ни один образец не был пригоден для исследования.

Процесс термообработки быстрорежущей стали в основном состоит из закалки и тройного отпуска. Для обеспечения постоянной температуры на про-

тяжении всего процесса аустенизации в муфельной печи с атмосферой аргона использовался двухэтапный нагрев (до 550 °C и до 850 °C). Затем образцы нагревали до температуры аустенизации 1150 °C и охлаждали в масле до комнатной температуры. Для удаления слоя обезуглероживания использовался электроискровой надрез. Наконец, образцы подвергли тройной закалке при температуре 550 °C в течение 1 часа, а затем охладили при комнатной температуре в условиях кондиционирования воздуха.

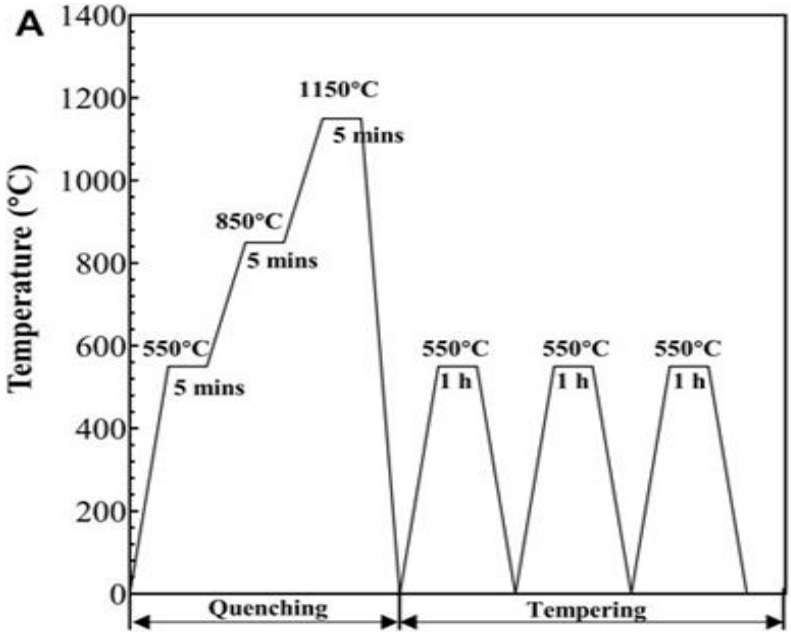


Рисунок 1– Схема термообработки

1.2 Характеристики быстрорежущей стали S390

Плотность спеченных образцов стали S390 определяли методом Архимеда (эталон — 8,2 г/см³). Структуру и пористость изучали с помощью ОМ и СЭМ (режимы SE и BSE), анализируя изображения в ImageJ (модули Threshold и Analyze Particles).

Твердость измеряли по Роквеллу (1471 Н, 10 с) при комнатной температуре и после закалки (620 °C, 4 ч) для оценки красностойкости. Прочность определяли методом трехточечного изгиба на стержнях 3×6×30 мм (не менее трех испытаний).

Износ оценивали по схеме «штифт-диск» (штифты Ø4 мм, диски 68 HRC). Условия теста: нагрузка 1000 Н, скорость 400 об/мин, дистанция 553 м (20 мин). Потерю массы фиксировали по результатам минимум трех экспериментов.

2 Анализ износостойкости и характеристик плотных и пористых образцов быстрорежущей стали S390 в зависимости от температуры.

2.1 Плотность и микроструктура

На рисунке 2 представлена зависимость плотности от температуры спекания. Плотность растет с повышением температуры: от 7,1 г/см³ (86,5%) при 930 °C до максимума 8,14 г/см³ (99,2%) при 1070 °C, после чего стабилизирует-

ся. Рост обусловлен усилением диффузии атомов и закрытием пор. При 1090 °C наблюдается незначительное снижение плотности до 8,13 г/см³ (99,1%) из-за локального расплавления и выдавливания материала, что ослабляет воздействие давления на порошок.

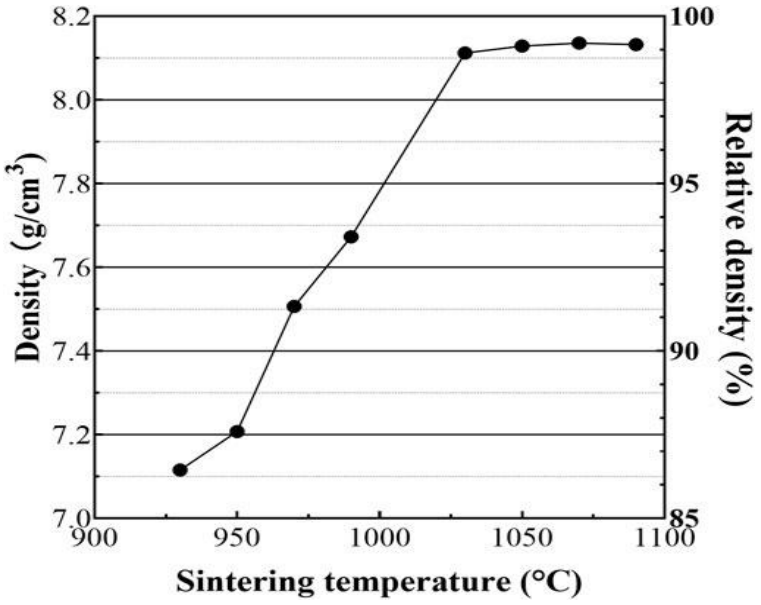


Рисунок 2 – Плотность и относительная плотность спечённой стали S390 в зависимости от температуры спекания

Анализ микроструктуры (рисунки 3–5) показал, что с ростом температуры спекания количество пор сокращается (с 1521 до 17 на поле зрения), а их средний диаметр уменьшается (с 19 до 1,5 мкм). Поры принимают сферическую форму, но не исчезают полностью из-за неоднородности температурного поля и дефектов исходных частиц порошка.

Повышение температуры интенсифицирует диффузию, увеличивает шейки спекания и способствует росту зерен. В структуре стали S390 формируются равномерно распределенные зернистые карбиды двух типов: белые из M_6C с высокой интенсивностью W и темно-серые из MC с высокой интенсивностью V, размер которых увеличивается по мере нагрева.

2.2 Механические свойства

Твердость стали S390 коррелирует с плотностью и микроструктурой (рисунок 6). При температуре ниже 1030 °C твердость быстро растет (с 48,46 до 56,1 HRC) за счет сокращения пор и трансформации карбидов в зернистую форму. В диапазоне выше 1030 °C показатели стабилизируются выше 66 HRC благодаря высокой плотности и однородному распределению карбидов; максимум (67,2 HRC) достигнут при 1070 °C.

Красностойкость (твердость после нагрева) всех образцов стабильна, однако при 1070 °C – 1090 °C наблюдается её снижение на 2,5 HRC. Оптимальное сочетание твердости и красностойкости показал образец, спеченный при 1050 °C, что обусловлено эффективным упрочнением матрицы и карбидной фазы.

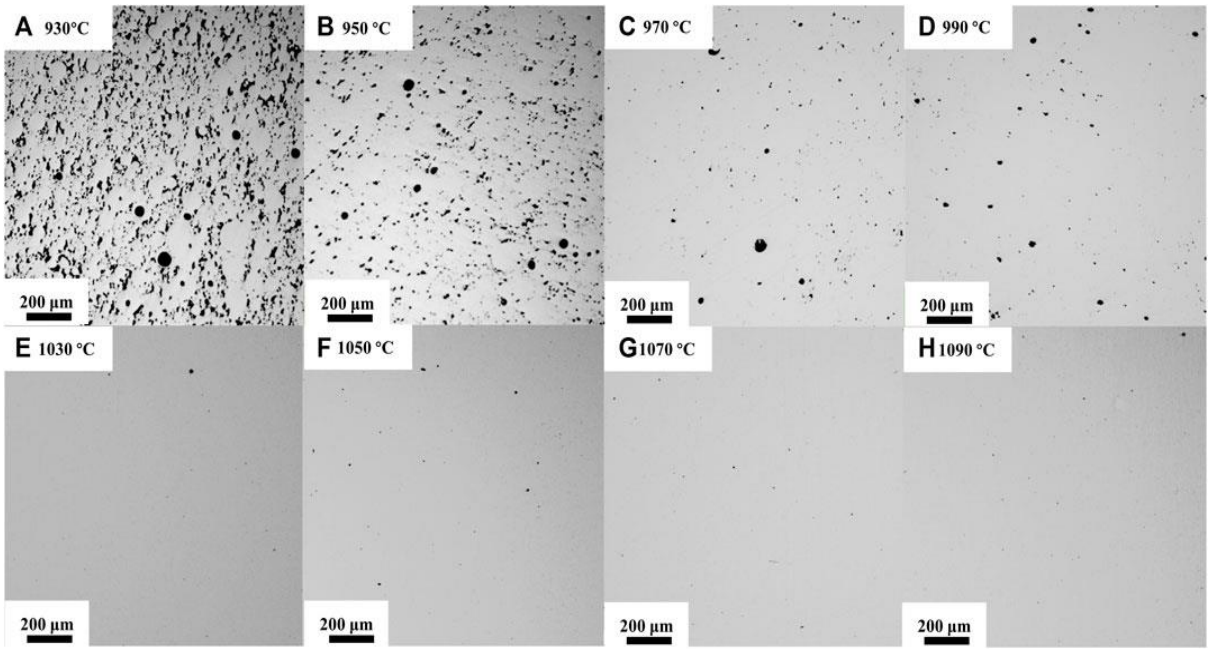


Рисунок 3 – Морфология образцов быстрорежущей стали S390, при различных температурах спекания

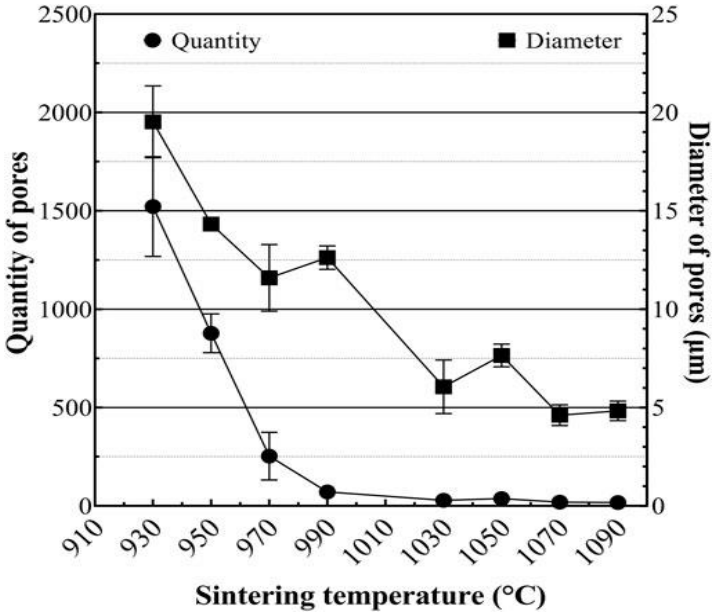
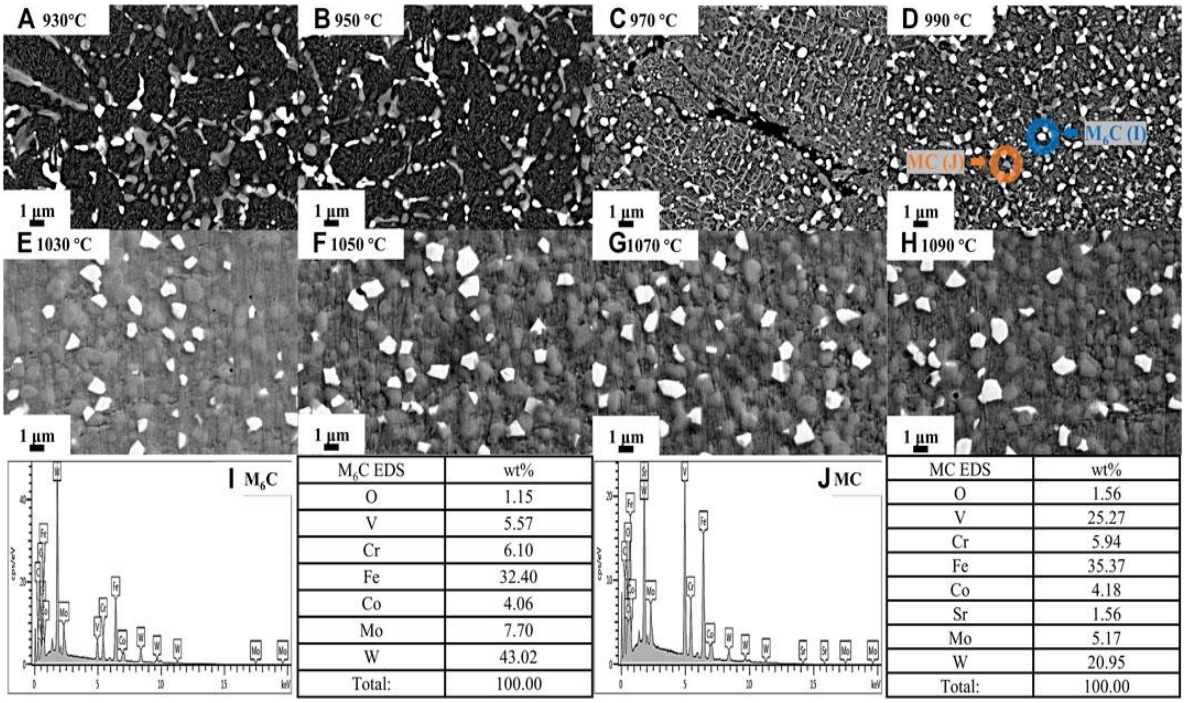


Рисунок 4 – Количество и диаметр пор в зависимости от температуры спекания



M_6C EDS	wt%
O	1.15
V	5.57
Cr	6.10
Fe	32.40
Co	4.06
Mo	7.70
W	43.02
Total:	100.00

MC EDS	wt%
O	1.56
V	25.27
Cr	5.94
Fe	35.37
Co	4.18
Sr	1.56
Mo	5.17
W	20.95
Total:	100.00

Рисунок 5 – Микроструктура образцов быстрорежущей стали S390 при различных температурах спекания

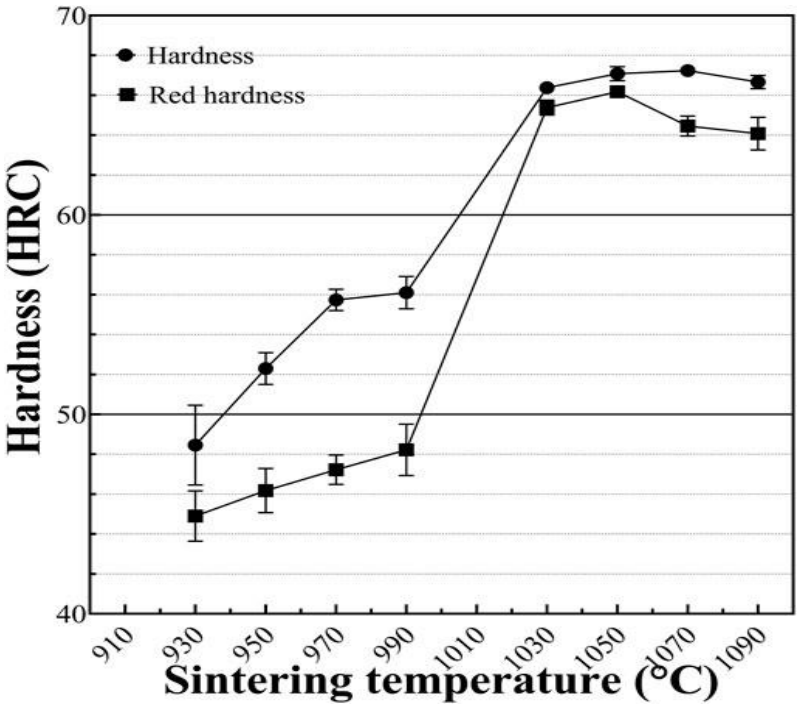


Рисунок 6 – Твёрдость и красностойкость быстрорежущей стали S390 в зависимости от температуры спекания

.

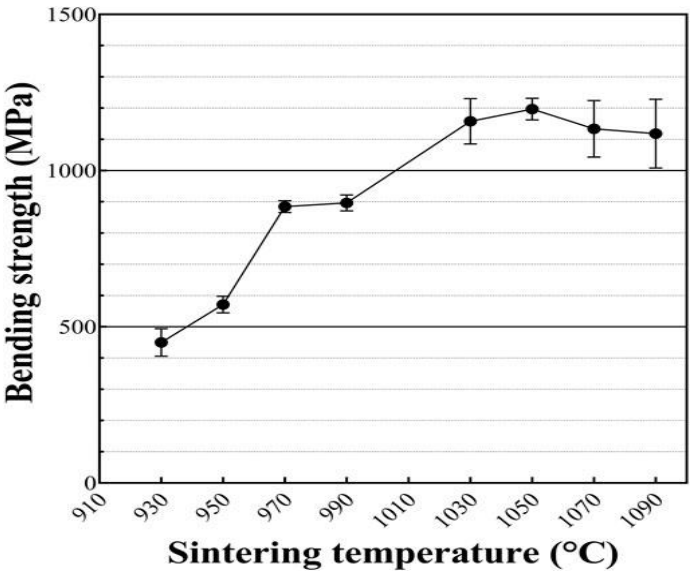


Рисунок 7 – Прочность на трёхточечный изгиб быстрорежущей стали S390 в зависимости от температуры спекания

Анализ поверхностей излома (рисунок 8) выявил три стадии изменения прочности. На первом этапе (низкие температуры) крупные частицы (>50 мкм) разрушались первыми из-за более широких спекающих шеек, тогда как мелкие частицы сохраняли сферическую форму.

На втором этапе, с ростом температуры, мелкие частицы также образуют прочные шейки, а количество пор снижается. Плоский характер излома подтверждает, что прочность межчастичных связей стала выше прочности самого тела порошка. На финальном этапе (максимальные температуры) наблюдаются изломы по границам исходных порошков, что связано с локальным разжижением материала и нарушением передачи давления при спекании.

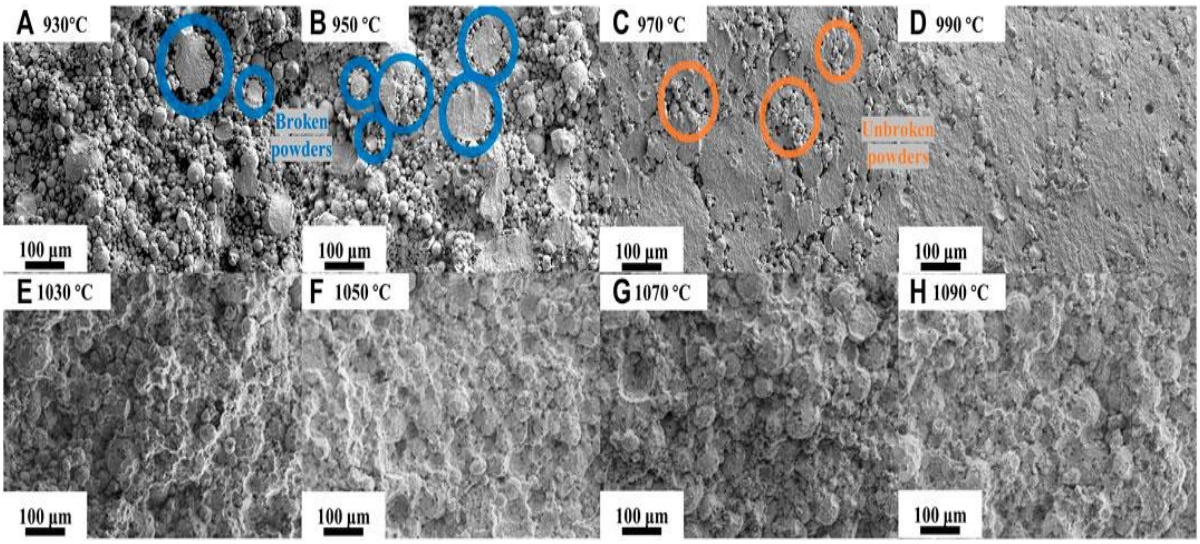


Рисунок 8 – Морфология излома образцов быстрорежущей стали S390 после испытаний на прочность при трёхточечном изгибе при различных температурах спекания

2.3 Износостойкость и механизм износа

Как показано на рисунке 9, коэффициент износа снижается с повышением температуры. Образец с наименьшей износостойкостью был спечён при температуре 930 °C со средним коэффициентом износа 8,89 × 10^{-15} м^2/Н, а образец с наибольшей износостойкостью был спечён при температуре 1090 °C со средним коэффициентом износа 1,33 × 10^{-15} м^2/Н. Коэффициенты износа образцов, спечённых при температурах 990 °C, 1030 °C и 1050 °C, были идентичны (3,12 × 10^{-15}, 3,34 × 10^{-15} и 3,11 × 10^{-15} м^2/Н). Снижение коэффициента износа в зависимости от температуры спекания может быть связано с изменением микроструктуры, которое фактически характеризуется исчезновением пор и ростом карбидов.

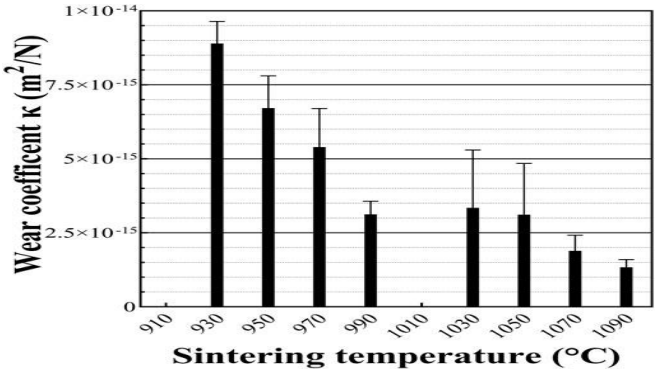


Рисунок 9 – Коэффициенты износа быстрорежущей стали S390 в зависимости от температуры спекания

Заключение

В этом исследовании рассматривалось влияние температуры спекания на микроструктуру и механические свойства сплава S390. Результаты этого исследования можно обобщить следующим образом.

Плотность и относительная плотность улучшились благодаря повышению температуры спекания. Температура спекания повлияла на микроструктуру, особенно на морфологию и размер пор и карбидов. Анализ и статистическая обработка данных о порах показали, что их количество и диаметр значительно уменьшились. Кроме того, уменьшение количества круглых пор в полых порошках было связано с процессом искрового плазменного спекания и локальным плавлением.

Механические свойства, такие как твёрдость и прочность при трёхточечном изгибе, значительно улучшились при повышении температуры спекания. Уменьшение количества пор способствует повышению твёрдости на этапе спекания при низкой температуре, в то время как механизм упрочнения твёрдым раствором в мартенситной матрице и механизм дисперсионного упрочнения за счёт мелких карбидов высокой твёрдости служат причиной повышения твёрдости на этапе спекания при высокой температуре. Образец с наилучшими комплексными механическими свойствами (67,1 HRC и 1196,67 МПа) был изготовлен при температуре 1050 °C.

Коэффициенты износа имели тенденцию к снижению с повышением температуры спекания, а результаты исследования изношенных поверхностей контрольных штифтов подтвердили, что в экспериментах по износу преобладали абразивный и окислительный износ. Кроме того, был проиллюстрирован и проанализирован механизм износа плотной и пористой быстрорежущей стали.

Список литературы

1 Короткова, Л. П. Контроль качества инструментальных материалов: учеб. пособие / Л. П. Короткова, Д. Б. Шатько. – Кемерово : КузГТУ, 2010. – 164 с.

2 Петров, А. К. Структурные особенности и свойства быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии / А. К. Петров, Г. И. Парабина, А. Н. Осадчий // Сталь. – 1981. – № 6. – С. 40–44.

3 Горюшина, М. Н. Термическая обработка и свойства быстрорежущей стали 10Р6М5-МП, полученной распылением и горячим экструдированием / М. Н. Горюшина, Н. Н. Гавриков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1980. – № 9. – С. 54–56.

4 Избыточные карбиды и воздействие их размеров на свойства быстрорежущей стали [Электронный ресурс] / Б. М. Жолдошов, М. Д. Шабданов, Б. Б. Маматкадырова, С. А. Капаров // КиберЛенинка : [сайт]. – Режим доступа: свободный.

5 Либенсон, Г. А. Особенности термообработки порошковых быстрорежущих сталей / Г. А. Либенсон, В. С. Панов. – М. : Металлургия, 1983. – 264 с.

6 Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 541 с.

7 Гропянов, А. В. Порошковые материалы] / А. В. Гропянов, Н. Н. Ситов, М. Н. Жукова. – СПб. : СПбГТИ (ТУ), 2017. – 56 с.

8 Определение твердости металлов и сплавов: метод. руководство к выполнению лаб. работы / сост.: А. В. Павлов, А. Г. Уфаев. – Саратов : ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова», 2016. – 20 с.

ИТТЕРБИЕВЫЕ ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ

Аркадьев В.А., Шкодских И.А., Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Юршев И.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современной лазерной технике волоконные лазеры на основе иттербия (Yb3+) занимают ключевую позицию благодаря уникальным характеристикам: высокому КПД, компактности, стабильности излучения и возможности масштабирования мощности. Особое значение имеют системы с длиной волны 1064 нм, востребованные в промышленности, медицине и научных исследованиях.

Цель статьи – систематизировать сведения о конструкции, принципах работы и применении иттербиевых волоконных лазеров с длиной волны 1064 нм, оснащённых сканаторами, коллиматорами и системами термостабилизации.

1 Физические основы генерации излучения

1.1 Механизм генерации в иттербиевых активных волокнах

Генерация на длине волны 1064 нм обусловлена переходами между штарковскими подуровнями энергетических уровней иона Yb3+ в кварцевом волокне. Энергетическая схема включает:

– основной уровень: 2F7/2;

– возбуждённый уровень: 2F5/2.

Процесс накачки осуществляется диодами с длиной волны 915 – 976 нм. Благодаря отсутствию возбуждённого поглощения и малой квантовой дефектности достигается КПД до 80 %.

1.2 Особенности волоконной геометрии

Активное волокно имеет структуру двойной оболочки:

– сердцевина (Ø6 – 12 мкм) с легированием Yb3+;

– внутренняя оболочка (Ø125 – 400 мкм) для транспортировки излучения накачки;

– внешняя оболочка из полимерного материала.

Такая конфигурация обеспечивает эффективное поглощение накачки и одномодовый режим генерации.

2 Конструктивные элементы системы

2.1 Базовая схема иттербиевого волоконного лазера:

– диодные источники накачки;

– мультиплексор для объединения излучения накачки;

– активное волокно с брэгговскими отражателями (FBG);

– изолятор для защиты от обратного излучения;

2.2. Выходная коллимирующая оптика

Принципиальная схема иттербиевого волоконного лазера представлена на рисунке 1.

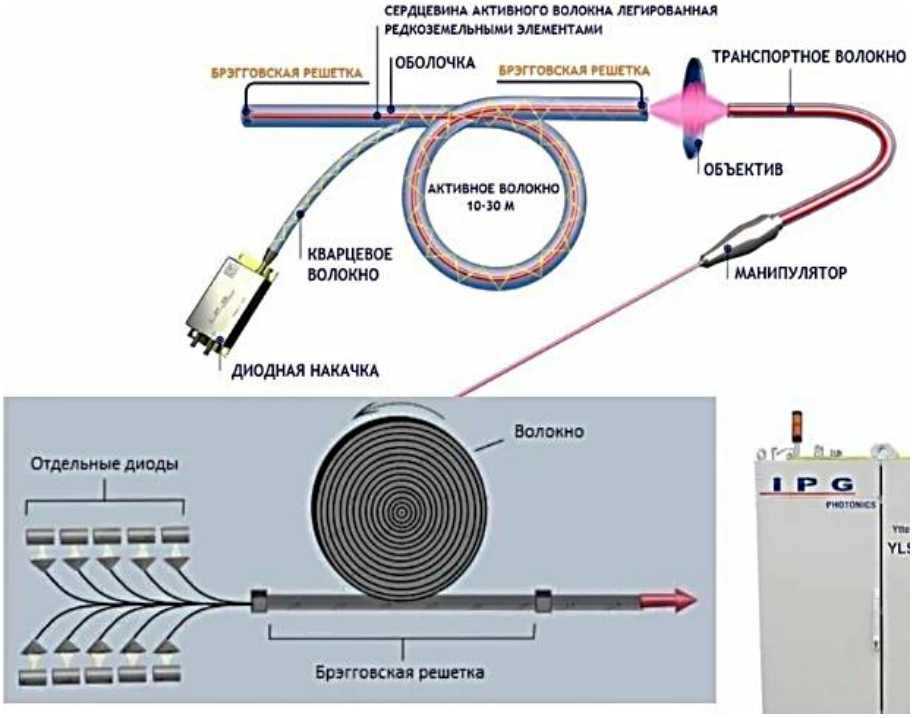


Рисунок 1 – Принципиальная схема иттербиевой волоконной лазерной системы

2.3 Сканаторы: принципы работы и типы

Сканаторы обеспечивают пространственное управление лазерным пучком. Основные типы:

– гальванометрические сканаторы;
– скорость сканирования до 10 м/с;
– точность позиционирования ±5 мкм;
– диапазон углов ±20°;
– акустооптические дефлекторы;
– время переключения <1 мкс;
– разрешение до 1000 линий на 1°.

2.4 Коллиматоры: оптическая коррекция

Коллиматоры преобразуют расходящийся пучок в параллельный. Ключевые параметры:

– фокусное расстояние: f=50 – 200 мм;
– диаметр пучка на выходе: D=5 – 15 мм;
– расходимость: θ < 0,5 мрад.

Используются асферические линзы с антибликовым покрытием (R < 0,2 %).

2.5 Система термостабилизации на базе чиллера поддерживает температуру активной среды

Термостабилизация критически важна для:

– поддержания длины волны ($\Delta\lambda < 0{,}1$ нм);
– предотвращения термической деполяризации;
– увеличения срока службы компонентов.

3 Принципы работы системы генерации и управления пучком:

– накачка: диодные модули (915 нм) через мультиплексор возбуждают ионы Yb3+;
– генерация: в волокне с FBG-зеркалами формируется мода TEM00;
– коллимация: выходное излучение преобразуется в параллельный пучок;
– сканирование: гальванометры отклоняют пучок по заданным координатам.

3.1 Управление параметрами излучения

Регулируемые параметры:
– мощность: P=10 – 1000 Вт (модуляция до 50 кГц);
– длительность импульса: τ=10 – 500 нс;
– частота повторения: f=1 – 100 кГц.

4 Применение систем

4.1 Промышленность
– маркировка материалов: разрешение до 25 мкм.
– резка металлов: скорость до 10 м/мин для стали толщиной 1 мм.
– сварка: глубина проплавления до 3 мм.

5 Технические характеристики типовой установки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики типовой иттербиевых лазерной установки

Параметр	Значение
Длина волны, нм	1064±0,5
Мощность, Вт	10 – 1000
Расходимость, мрад	<0,8
Качество пучка, M2	<1,2
Частота сканирования, Гц	до 1000
Точность позиционирования, мкм	±5
Температурная стабильность, °C	±0,1

6 Преимущества и ограничения

6.1 Преимущества:
– высокий КПД (>70%);
– компактность (объём <0,1 м^3);
– долговечность (>50 000 ч);
– минимальное обслуживание.

6.2 Ограничения:
– чувствительность к температурным градиентам;
– ограниченная пиковая мощность (<10 кВт);
– высокая стоимость активных волокон.

7 Перспективы развития

Ключевые направления:

– увеличение мощности до 10 кВт;

– уменьшение расходимости до 0,3 мрад;

– интеграция с системами ИИ для адаптивного управления;

– разработка волокон с повышенной концентрацией Yb3+.

Иттербиевые волоконные лазерные установки с длиной волны 1064 нм, оснащённые сканаторами и коллиматорами при термостабилизации, представляют собой высокотехнологичные системы с широким спектром применения. Их ключевые преимущества – высокая эффективность, стабильность и гибкость настройки параметров излучения. Дальнейшее развитие технологий связано с повышением мощности, улучшением качества пучка и интеграцией интеллектуальных систем управления.

Список литературы

1 Gapontsev V. P., et al. «Yb-doped fiber lasers and amplifiers: technology and applications». Optical Fiber Technology, 2018, vol. 45, pp. 1–15.

2 Richardson D. J., et al. «High power fiber lasers: current status and future perspectives». Journal of the Optical Society of America B, 2020, vol. 37, no. 3, pp. A1–A20.

3 DiGiovanni D. J., et al. «Thermal management in high-power fiber lasers». IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2019, vol. 25, no. 5, art. 0901412.

4 Васильев, С. А. Волоконные решетки показателя преломления и их применение / С. А. Васильев, О. И. Медведков, И. Г. Королев, А. С. Божков, А. С. Курков, Е. М. Дианов // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085-1103.

5 Неуструев, В. Б. Электрострикционный механизм образования брэгговской решетки в германосиликатных световодах / В. Б. Неуструев // Квантовая электроника. – 2001. – Т. 31. – № 11. – С. 1003-1006.

6 Кукушкин, С. А. Образование микропор в оптическом волокне под воздействием импульсного УФ света высокой интенсивности / С. А. Кукушкин, А. В. Осипов, М. Г. Шлягин // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76. – № 8. – С. 73–84.

7 Колдунов, М. Ф. Термоупругий и абляционный механизмы лазерного повреждения поверхности прозрачных твердых тел / М. Ф. Колдунов, А. А. Маненков, И. Л. Покотило // Квантовая электроника. – 1998. – Т. 25. – № 3. – С. 277-281.

8 Сайт ООО «ФОРСАЙТ ТЕХНОЛОГИИ» – Режим доступа: https://laserstore.ru/ Дата обращения: 20.01.2026 г.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Архапчева М.В., Акимов С.С., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В условиях цифровой трансформации газораспределительной отрасли ключевой задачей становится переход от реактивных и планово-предупредительных стратегий обслуживания к интеллектуальному предиктивному управлению. Основной функцией газораспределительной сети является обеспечение качественного редуцирования газа до требуемых значений и поддержание заданного выходного давления стабильным независимо от изменений на входе [1]. Однако реальный потенциал интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) раскрывается лишь при условии осмысленной работы с данными, что упирается в фундаментальную проблему интеграции разнородных информационных потоков.

Существующие исследования либо фокусируются на частных аспектах, таких как анализ параметров газа с помощью базовой статистики [2], применение отдельных моделей машинного обучения для прогнозирования, либо остаются на уровне обзора технологий и проблем [1]. При этом отсутствует сквозная методология, которая бы связывала этапы семантической интеграции данных, построения предиктивных моделей и формирования оптимального плана ремонтов с учетом ресурсных ограничений.

Целью данной работы является разработка такой комплексной методологии, обеспечивающей переход от разрозненных данных к обоснованным управленческим решениям. Фундаментальной проблемой, сдерживающей создание эффективных СППР, является формирование «информационных силосов».

Данные от систем диспетчеризации (SCADA), географических информационных систем (ГИС), архивов ремонтов, систем катодной защиты и биллинговых систем обладают уникальными моделями, форматами и семантикой. В результате оператор не может оперативно соотнести, например, падение давления на участке с историей его ремонтов и данными о коррозии [3].

Первый этап предлагаемой методологии направлен на преодоление этой проблемы через создание единого семантического ядра. В его основе лежит привязка всех событий и атрибутов к уникальным идентификаторам элементов сети и их геопозициям. Источники данных включают: оперативные параметры SCADA (давление, расход, температура); статические атрибуты из ГИС (материал, диаметр, год укладки, класс давления); историю отказов и ремонтов; данные диагностики коррозии; внешние факторы (тип грунта, климатические условия). Вариации параметров газа, например, значимые статистические различия в давлении и температуре газа с разных месторождений [2], должны быть

учтены в этой унифицированной модели. На основе сырых данных формируется расширенное признаковое пространство, включающее агрегированные признаки, такие как «количество инцидентов за последние 5 лет», «среднегодовая скорость коррозии», «коэффициент сезонной нагрузки». Этот этап обеспечивает контекстное объединение разрозненных потоков информации, что является основой для любого последующего анализа [3].

Второй этап методологии посвящен построению ансамблевой модели оценки вероятности отказа (Risk Score) для каждого сегмента сети. Анализ современных подходов показывает, что искусственный интеллект, в частности машинное обучение, открывает уникальные возможности для прогнозирования потенциальных отказов [1]. Однако использование единой модели, например, рекуррентной нейронной сети (LSTM), эффективной для прогнозирования временных рядов [4], не учитывает статические и категориальные признаки. С другой стороны, модели градиентного бустинга (CatBoost, XGBoost) успешно обрабатывают табличные данные со смешанными типами признаков, но могут хуже учитывать долгосрочные временные зависимости. Поэтому предлагается использовать ансамбль из двух специализированных моделей.

Первая модель − градиентный бустинг − обучается на статических и агрегированных динамических признаках. Вторая модель − сеть типа LSTM − анализирует многомерные временные ряды оперативных параметров. Нейронные сети с долговременной кратковременной памятью (LSTM) представляют собой мощный тип рекуррентных нейронных сетей, способный эффективно учитывать долгосрочные зависимости в последовательных данных [4]. Их архитектура включает входной вентиль (Input gate), забывающий вентиль (Forget gate), ячейку памяти (Cell state) и выходной вентиль (Output gate) [4]. Предсказания обеих моделей агрегируются посредством взвешенного усреднения или мета-обучения, что позволяет получить итоговую оценку риска, учитывающую как текущее состояние, так и исторические паттерны поведения сети. Такой подход соответствует передовому тренду использования комбинации алгоритмов для повышения точности и надежности прогнозов в predictive maintenance [1].

Третий, завершающий этап трансформирует полученные прогнозы в практический инструмент управления − оптимальный годовой план ремонтов. Наличие оценки риска для каждого участка само по себе не решает задачу планирования, которая ограничена бюджетом, количеством ремонтных бригад, сезонностью работ и необходимостью учитывать приоритеты (например, близость к социальным объектам). Данный этап формализуется как задача оптимизации с целочисленным программированием. Целевая функция направлена на максимизацию суммарного снижаемого риска по всем запланированным участкам. Ограничения включают общий бюджет, ресурсы бригад, технологические окна и обязательность работ с превышением порогового значения риска.

В результате решения этой задачи система автоматически формирует календарный график ремонтов, определяя не только «что ремонтировать», но и «когда» и «в какой последовательности», обеспечивая максимальную эффек-

тивность использования ресурсов. Основная задача газораспределительных предприятий – поддержание надежности сети, которая отвечает за присоединение домов к газораспределительной инфраструктуре [1], и предлагаемая методология прямо способствует ее решению. Таким образом, в статье предложена комплексная методология предиктивного планирования ремонтов, которая системно решает проблему перехода от разрозненных данных к обоснованным управленческим решениям в газораспределительных сетях. Научная новизна заключается в интеграции семантической гармонизации разнородных данных, ансамбля машинного обучения для оценки риска и алгоритма оптимизации для формирования плана работ в единый сквозной процесс.

Практическая значимость заключается в создании основы для конкретных интеллектуальных СППР, способных повысить надежность и безопасность сетей при одновременной оптимизации эксплуатационных затрат [1]. Перспективы дальнейших исследований связаны с углублением интеграции, например, использованием данных дистанционного зондирования, и развитием методики в направлении создания полноценного цифрового двойника газораспределительной сети. Опыт зарубежных стран показывает, что успешная интеграция данных становится возможной при использовании передовых методов; разрабатываются виртуальные копии (цифровые двойники) газораспределительных сетей, позволяющие моделировать различные сценарии работы системы [3].

Список литературы

1 Архапчева, М. В. Обзор технологий искусственного интеллекта для повышения надёжности в газораспределительной сети / М. В. Архапчева, С. С. Акимов, В. А. Трипкош // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов XXXI Международной научно-практической конференции. – 2024. – С. 230-233.

2 Хасанов, А. А. Прогнозирование отказов компрессорного оборудования с применением алгоритмов машинного обучения / А. А. Хасанов // Нефтегазовый комплекс: экономика, политика, экология : сборник статей победителей V конкурса, Санкт-Петербург, 23 апреля 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. – С. 168-174.

3 Архапчева, М. В. Обзор проблем интеграции разнородных данных в интеллектуальных системах поддержки принятия решений для газораспределительных сетей / М. В. Архапчева, В. А. Трипкош // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2025. – С. 74-78.

4 Филонов, Т. С. Нейросетевой метод предиктивного анализа данных для ремонтных работ внутридомового газового оборудования / Т. С. Филонов // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 5(74). – С. 1562-1566.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОВЕРКИ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

Балабанов М.Д., Смольский Ю.А.,
Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Тепловизионные приборы – это оптико-электронные устройства, которые различают тепло (инфракрасное излучение) объектов, преобразуют его в видимое изображение на экране, позволяя обнаруживать людей, животных и технику в темноте, дыму, тумане, а также находить утечки тепла в зданиях и неисправности в электросетях. Принцип работы состоит из нескольких этапов:

1) обнаруживают инфракрасное излучение, которое испускают все объекты, имеющие температуру выше абсолютного нуля;
2) преобразуют разницу температур в видимое изображение на дисплее;
3) работают как в полной темноте, так и сквозь дым, туман и листву.

В настоящее время тепловизионные приборы (ТП) получили широкое распространение и стремительно развиваются. На этапах разработки, испытания, проверки и внедрения в производство необходимо контролировать параметры их работы.

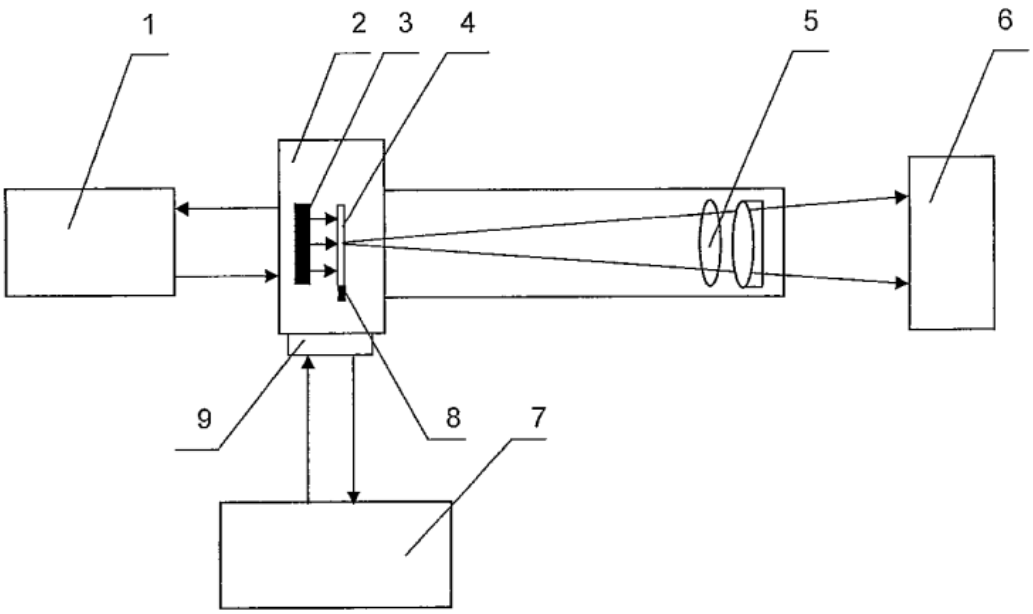
Самым эффективным методом проверки ТП является использование стендов (коллиматоров), тест-объектов и моделей абсолютно черных тел. В данной работе рассмотрим инфракрасный коллиматор линзовый (далее по тексту – стенд ИКЛ), его назначение, устройство и принцип работы.

Стенд ИКЛ предназначен для измерения и контроля параметров ТП, обеспечивает контроль и измерение основных характеристик:

– рабочий угол разрешения;
– минимальной разрешаемой разности радиационных температур;
– минимальной обнаруживаемой разности радиационных температур.

Стенд ИКЛ состоит из коллиматора, блока управления, персонального компьютера (ПК) со специальным программным обеспечением (ПО). Принцип работы основан на имитации бесконечно удаленных тепловых тест-объектов с заданными геометрическими размерами. На выходе оптической системы коллиматора воспроизводится величина $\Delta T_м$ между излучающе-пропускающей мирой, установленной в фокальной плоскости объектива коллиматора, и излучателем, установленным за мирой. Изменение величины $\Delta T_м$ обеспечивается изменением температуры излучателя. При измерении минимальной обнаруживаемой разности радиационных температур принцип действия аналогичен, за исключением того, что тест-объект представляет собой апериодический тепловой тест-объект другой геометрической формы.

Функциональная схема стенда ИКЛ представлена на рисунке 1.



1 – блок управления; 2 – узел тест-объекта; 3 – излучатель;
4 – тест-объект; 5 – объектив; 6 – проверяемое изделие;
7 – ПК; 8 – датчик температуры; 9 – блок электронный.

Рисунок 1 – Функциональная схема

Рассмотрим работу блока управления (БУ) и блока электронного (БЭ).

Блок электронный предназначен для:

– измерения температуры излучателя и тест-объекта;

– формирования сигналов управления для термоэлектрического микроохладителя (ТЭМО);

– формирования сигналов управления шаговыми двигателями;

– связи с ПК.

Блок управления предназначен для:

– формирования напряжений питания коллиматора;

– управления шаговыми двигателями.

БЭ с помощью входящих в него аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) преобразуют электрические напряжения с датчиков температуры, размещенных на тест-объектах и излучателе и выдают на АРМ оператора. С помощью ПК оператор вводит требуемое значение разности радиационных температур. Оно передается в БЭ для сравнения с фактическим значением и дальнейшей корректировки.

Так же с ПК на БЭ передается необходимое положение кассеты узла с установленной мирой. С помощью датчиков положения определяется фактическое положение кассеты. В случае несовпадения формируется управляющий сигнал для БУ, который перемещает узел миры.

Узел тест-объекта состоит из:

– узла миры;

– узла излучателя.

Узел мир состоит из:

– комплекта тест-объектов;

– кассеты, предназначенной для размещения тест-объектов;

– двух приводов, оснащенных шаговыми двигателями, предназначенных для перемещения кассеты и установки тест-объекта с заданным фиксированным размером в центре поля зрения объектива;

– четырех датчиков положения, для точного позиционирования кассеты;

– датчиков температуры, контролирующих термодинамическую температуру тест-объекта.

Узел излучателя задает термодинамическую температуру мир.

Температура излучателя контролируется тремя датчиками температуры, установленными на него. ТЭМО стабилизирует температуру до заданной разности между тест-объектом, установленным в фокальной плоскости коллиматора, и излучателем, установленным за тест-объектом, которая пропорциональна разности радиационных температур на выходе коллиматора. Отвод тепла с нерабочей стороны термоэлектрического микроохладителя обеспечивается вентилятором.

Данный стенд позволяет быстро получать информацию как о качестве ТП, так и о качестве изображения, формируемого на видеомониторе, а также определять обнаружительную способность.

Оценка качества изображения и обнаружительной способности производится путем смены тест-объектов, что ускоряет процесс проведения испытания.

Список литературы

1 Тарасов, В. В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. – Москва: Логос, 2004. – 444 с. – ISBN 5-94010-211-1.

2 Мирошников, М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: учебное пособие для вузов / М. М. Мирошников. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 704 с.

3 ГОСТ Р 53466-2009. Приборы тепловизионные. Методы измерения основных параметров. – Москва: Стандартинформ, 2010. — 19 с.

4 Ллойд, Дж. Системы тепловидения / Дж. Ллойд; перевод с английского под редакцией А. И. Горячева. – Москва: Мир, 1978. – 414 с.

5 Якушенков, Ю. Г. Проектирование оптико-электронных приборов: учебник / Ю. Г. Якушенков. – Москва: Логос, 2000. – 488 с.

6 Елизаренко, А. С. Оптико-электронные системы в тепловидении / А. С. Елизаренко, В. А. Соломатин. – Москва: Машиностроение, 1987. – 160 с.

8 Криксунов, Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л. З. Криксунов. – Москва: Советское радио, 1978. – 400 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВИБРАЦИИ

Баранова А.М., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В условиях глобальной конкуренции и ускорения жизненных циклов продукции ключевыми факторами успеха промышленных предприятий становятся качество, надежность и скорость вывода изделий на рынок. Испытания кабельной продукции на виброустойчивость являются обязательным и ресурсоемким этапом для изделий отраслей. Ручные методы не могут обеспечить необходимую точность и скорость для современных производств.

Производство кабеля для аэрокосмической отрасли является актуальным, используется при сборке летательного аппарата. К кабелю предъявляются самые жесткие требования по надежности и весу.

В аэрокосмической сфере кабель производят для решения следующих задач:

– передача данных и управление; в современных самолетах и ракетах механические тяги заменены электрическими сигналами; кабель передает команды от пилота к исполнительным механизмам (закрылкам, рулям высоты, двигателям); сбой в таком кабеле означает потерю управления аппаратом;

– питание бортовых систем; авиационные кабели распределяют электроэнергию от генераторов двигателей ко всем узлам – от систем жизнеобеспечения и навигации до освещения салона и кухонного оборудования;

– бортовая телеметрия и мониторинг; тысячи датчиков (температуры, давления, вибрации, расхода топлива) постоянно передают данные в бортовой компьютер; кабели обеспечивают точность этих показаний, блокируя электромагнитные помехи;

– связь и радиолокация; высокочастотные коаксиальные кабели соединяют антенны, радары и системы спутниковой навигации с приемниками, обеспечивая связь с землей.

Технологический процесс испытания кабеля на устойчивость к вибрации, представленный на рисунке 1, состоит из следующих этапов:

– внешний осмотр кабеля – начальный этап, необходимый для визуальной оценки состояния кабеля и выявления видимых повреждений перед проведением испытаний;

– закрепление кабеля на платформе вибростенда – подготовка образца к механическому воздействию; вибрационные испытания требуют надежного крепления для имитации реальных условий эксплуатации, таких как работа и транспортировка;

– проверка параметров; в процессе испытаний на виброустойчивость и вибропрочность измеряются различные параметры, такие как ускорение, ско-

рость и смещение, чтобы диагностировать потенциальные проблемы;

– демонтаж, снятие кабеля; после завершения испытаний кабель снимается с платформы для дальнейшего анализа;

– составление протокола испытаний, является финальным этапом, на котором результаты проведенных тестов документируются в официальном протоколе, содержит информацию о методиках, использованных приборах и полученных данных.

Рисунок 1 – Процесс испытания кабеля на устойчивость к вибрации

При проверке кабеля на прочность возникает проблема, связанная с непрерывной вибрацией от двигателей и аэродинамических потоков. Использо-

вание технологии тончайших жил и изоляции для снижения веса кабеля уменьшает его механический запас прочности. При воздействии вибрации на кабель с резким изменением температуры делает материал хрупким и требует комплексное автоматизированное тестирование.

Кабель должен обладать таким параметрами как виброустойчивость, вибропрочность.

Виброустойчивость кабеля – это его способность сохранять как физическую целостность, так и функциональные параметры передачи данных при воздействии вибрационных нагрузок.

Вибропрочность – способность конструкции кабеля противостоять усталостным разрушениям – целостность жил, стойкость изоляции, прочность заделки).

Функциональная виброустойчивость – способность обеспечивать бесперебойную работу под нагрузкой: отсутствие микрообрывов, стабильность сопротивления, малошумность.

Для оценки устойчивости оптических кабелей к сейсмическим воздействиям проводят испытания на виброустойчивость. Некоторые методы испытаний:

– метод качающейся частоты при воздействии синусоидальной вибрации с плавным качанием от 1 до 5000 Гц для поиска резонансов;

– метод фиксированных частот во всём диапазоне частот при воздействии синусоидальной вибрации;

– метод определения границы виброустойчивости при воздействии синусоидальной вибрации.

– метод воздействия колебаний соответствующих акселерограмм землетрясения;

– метод одной или нескольких фиксированных частот.

Испытания кабеля на устойчивость к вибрации демонстрирует высокую эффективность и становится неотъемлемой частью современного производственного процесса. В дальнейшем планируется разработать автоматизированный стенд для проведения испытаний кабеля.

Список литературы

1 Корякин, А.Г. Поведение оптических кабелей связи при параметрических вибрационных сейсмических воздействиях / А.Г. Корякин, А.С. Хахичев, Д.С. Холодный // Фотон – Экспресс – Наука. – 2023. – № 6. – С. 345.

2 Козочкин, М.П. Информационно-измерительные и управляющие системы силовых и виброакустических параметров / М.П. Козочкин, А.Р. Маслов, А. Н. Порватов // Измерительная техника. – 2015. – № 8. – С. 5–9.

3 Шашурин, В.Д. Аппаратное обеспечение испытаний изделий на воздействие вибрации : учеб. пособие / В.Д. Шашурин, О.С. Нарайкин, С.А. Воронов [и др.]; под общ. ред. В.М. Башкова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 74 с. – ISBN 978-5-7038-3334-6.

ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Барбашина О.В., Мешкова Л.А., Репях В.С., канд. техн. наук, доцент, Гасанова А.В., Неплях Ю.Б.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Гальваническое покрытие (гальванизация) – это тонкий металлический слой, который наносят на поверхность изделия с помощью электрического тока. Основная задача таких покрытий – повышение коррозионной стойкости, улучшение износостойкости, декоративные свойства и улучшение характеристик крепежных изделий.

Цель работы – изучение основного понятия гальванических покрытий, их роли и значимости для повышения эксплуатационных характеристик крепежных изделий, а также анализ и классификация основных видов гальванических покрытий.

Объект исследования: крепежные изделия (винты, болты, гайки), а также гальванические покрытия, применяемые для повышения их коррозионной стойкости, износостойкости.

Принцип работы гальванического покрытия: ионы металла осаждаются на поверхности изделия под действием электрического тока. Для этого используют особые электролиты – растворы, содержащие ионы металла, которые необходимо нанести.

Функции гальванического покрытия:

– защита от коррозии (предотвращает разрушение металлов под воздействием влаги, химических веществ и воздуха);

– повышение износостойкости (защитный слой улучшает механические свойства, снижает трение);

– декоративный эффект (придаёт изделиям эстетически привлекательный вид).

Для крепежных изделий широко применяются следующие виды гальванических покрытий:

– цинкование – защита от коррозии, цинк устойчив к агрессивным средам.

– никелирование – сочетает декоративные и защитные свойства: никелевый слой придаёт изделиям блеск, повышает износостойкость, устойчивость к коррозии;

– хромирование – повышает твёрдость и износостойкость поверхности, улучшает её внешний вид и делает металл более устойчивым к воздействию агрессивных сред;

– меднение – служит промежуточным слоем: медный слой улучшает адгезию последующих слоёв, повышает электропроводность изделий [1].

Процесс гальванизации включает несколько этапов:

1. Подготовка поверхности: металлические детали очищают, обезжиривают и химически обрабатывают.

2. Погружение в электролитический бак – детали помещают в ёмкость с раствором металлической соли и иных химических веществ (электролит).

3. Электролиз – детали и анодная часть (обычно из металла для детали) помещаются в электролитический бак, затем применяется электрический ток, в результате которого ионы металла из раствора остаются на поверхности деталей.

4. Контроль процесса – важно точно контролировать параметры процесса, такие как ток, время и температура, чтобы обеспечить равномерное и качественное нанесение покрытия.

5. Очистка и отделение – после завершения процесса гальванизации детали извлекают из бака, промывают и подвергают отделению от ненужных материалов [2].

Гальванические покрытия используются в различных отраслях, например: автомобильная промышленность – для защиты от коррозии крепёжных деталей и элементов кузова, для защитно-декоративной отделки бамперов, решёток радиаторов, дисков; электроника и приборостроение – для обеспечения электропроводности, защиты от коррозии и создания функциональных поверхностей; аэрокосмическая отрасль – для повышения коррозионной стойкости, износостойкости и жаропрочности деталей, работающих в экстремальных условиях.

На износостойкость гальванических покрытий влияют состав электролита, плотность тока, температура и время осаждения. Эти параметры определяют структуру и свойства покрытий, что важно для их износостойкости.

Для повышения износостойкости стали используют легирование покрытий, например:

– хром (Cr) – повышает твёрдость и износостойкость, образует карбиды;

– марганец (Mn) – улучшает прочность и износостойкость, повышает прокаливаемость стали (глубину закалённого слоя);

– введение твёрдых неорганических частиц, они, включаясь в покрытие, позволяют изменять его свойства, твёрдость и износостойкость. В качестве добавки применяют карбиды, бориды, нитриды, окислы, сульфиды и другие соединения.

В процессе длительной работы ванны состав может меняться, что ухудшает качество покрытий. Необходимо соблюдать соотношение концентраций химических веществ и корректировать электролит.

При низких плотностях тока происходит медленное образование зародышей кристаллизации, что приводит к формированию крупнозернистой структуры. Увеличение плотности тока ускоряет процесс зародышеобразования, способствуя получению мелкозернистых покрытий с повышенной твёрдостью. Превышение критической плотности тока приводит к образованию дендритов, пористости и снижению адгезии покрытия. Каждый электролит характеризует-

ся определённым диапазоном рабочих плотностей тока, в котором обеспечивается получение качественных покрытий.

Оптимальная температура указывается в технологических картах для каждого типа электролита.

Термическая обработка после гальванизации влияет на износостойкость покрытий. Наиболее высокой износостойкостью обладают покрытия, термообработанные в интервале от 150 °С до 200 °С, термическая обработка при более высокой температуре вызывает существенное снижение износостойкости.

Импульсное осаждение позволяет получать покрытия с мелкозернистой структурой, повышенной твёрдостью и износостойкостью. Время наращивания твёрдого слоя подбирают так, чтобы размер сформированных на микронеровностях твёрдых зёрен соответствовал оптимальному с точки зрения износостойкости размеру дисперсных частиц (10 – 30 мкм). Чередующиеся слои высокой и низкой твёрдости позволяют формировать износостойкий слой значительной толщины [3].

Микроструктура цинкового покрытия, полученного гальваническим способом, представлена на рисунке 1.

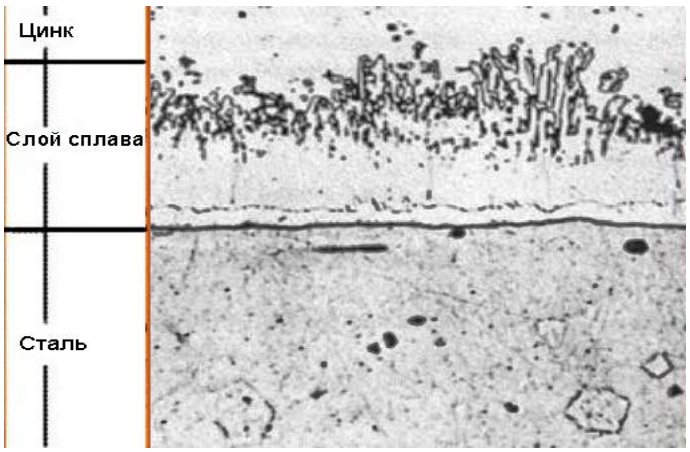


Рисунок 1 – Микроструктура цинкового покрытия, полученного гальваническим способом

Микроструктура цинкового покрытия, полученного гальваническим способом (электролитическим цинкованием), обычно характеризуется мелкими, равномерными зёрнами. Это способствует гладкому внешнему виду и механическим свойствам покрытия.

Разрушающие методы контроля качества покрытий применяются, когда допустимо повреждение контрольного участка. Они дают высокую точность измерений, позволяют выявлять локальные дефекты и оценивать однородность покрытия. Например, при изготовлении микрошлифа часть покрытия срезают для последующего микроскопического анализа. Метод позволяет детально изучить распределение слоя, выявить микронеровности и оценить качество сцепления покрытия с основой; скалывание – покрытие отделяют с поверхности с последующим измерением толщины. Способ применим к жёстким металличе-

ским покрытиям и позволяет оценить прочность сцепления на небольших участках; взвешиванием – определяют разницу массы изделия до и после удаления покрытия. Метод позволяет вычислить среднюю толщину слоя по всей поверхности.

Неразрушающие методы позволяют контролировать толщину покрытия без повреждения изделий, что важно для массового производства. Магнитный метод – основан на измерении влияния немагнитного слоя на магнитное поле основы. Применяется для деталей с магнитной основой и позволяет определять толщину покрытия на разных участках без разрушения изделия. Электромагнитный метод – используются индуцированные вихревые токи для оценки толщины на металлических и неметаллических поверхностях. Подходит для сложной геометрии деталей и позволяет проводить массовый контроль на производственной линии. Рентгено-флуоресцентный метод – основан на анализе характеристического излучения элементов покрытия при воздействии рентгеновских лучей [4].

Также для контроля качества гальванических покрытий используют автоматизированные системы контроля, портативные измерительные приборы, компьютерный анализ и цифровую обработку.

В результате получения качественного гальванического покрытия повышается износостойкость крепёжных изделий из стали за счёт защиты от коррозии и механических повреждений. Это достигается за счёт образования тонкого металлического слоя, который выполняет функцию анода: при контакте с агрессивной средой процессы коррозии предпочтительно развиваются на цинке, а коррозия основного материала – железа (стали) временно подавляется.

Список литературы

1 Виноградов, С. С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование. / Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Глобус, 2005. – 240 с.

2 Лайнер, В. И. Современная гальванотехника / В. И. Лайнер. – М.: Металлургия, 1967.

3 Защитные покрытия : учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

4 Коротин, А. И. Технология нанесения гальванических покрытий: учебное пособие / А.И. Коротин. – М.: Высшая школа, 1984.

ТЕХНОЛОГИЯ ГЛУБОКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Барыба В.Р., Барыба Ю.А., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современное промышленное производство, особенно в пищевой отрасли, в значительной степени зависит от импортного технологического оборудования европейских производителей (таких как Inject Star, Wolfking, Risco). Средний срок его эксплуатации составляет 10-15 лет, после чего критически уязвимыми становятся программно-аппаратные системы управления, выполненные по закрытой архитектуре. Выход из строя таких систем приводит к длительным (3-6 месяцев) и дорогостоящим простоям, усугубляемым современными геополитическими реалиями [1]. В этой связи задача разработки методик их глубокой модернизации с переходом на открытые, доступные и ремонтопригодные платформы приобретает высокую научно-практическую актуальность и соответствует стратегическим целям технологического суверенитета.

Целью данной работы является разработка и апробация комплексной технологии замены штатной системы управления специализированного импортного оборудования на открытую платформу на базе отечественных средств автоматизации, с оценкой её технической реализуемости и экономической эффективности.

Объектом исследования выступил гидравлический пресс-сепаратор Inject Star P-60, штатная система управления которого (пульт управления ISC-E40) вышла из строя. Проект выполнялся по следующей методологии:

1) реверс-инжиниринг и анализ: изучение принципиальных электрических и гидравлических схем, анализ логики работы на основе руководства по эксплуатации для формирования полного перечня функций и требований к новой системе;

2) проектирование архитектуры: разработка трёхуровневой структуры (полевой уровень – контроллерный уровень – операторский уровень). Ключевым решением стало использование промышленной сети EtherCAT для связи между программируемым контроллером (ПЛК) и распределёнными модулями ввода-вывода, что обеспечило требуемое быстродействие и детерминизм;

3) выбор аппаратной платформы: в качестве ядра системы выбран отечественный ПЛК Optimus Drive MX308CE, обладающий встроенной поддержкой EtherCAT и программируемый в среде CoDeSys по стандарту IEC 61131-3. Для человеко-машинного интерфейса выбрана панель ОВЕН СП310;

4) разработка алгоритмов и ПО: в среде CoDeSys 3.5 на языках ST и CFC разработана программа, реализующая:

– конечный автомат (SFC) основного технологического цикла;

– систему безопасности с обработкой сигналов 5 защитных выключателей;

– три адаптивных технологических режима («Говядина», «Свинина», «Птица»), оптимизированных по давлению и времени для различного сырья;

5) экономическое моделирование: проведён сравнительный анализ затрат по различным сценариям с учётом как прямых издержек, так и потерь от простоя оборудования.

Внедрённая система успешно восстановила работоспособность сепаратора. Достигнуты следующие технические показатели:

– время цикла управления по сети EtherCAT <5 мс;

– реализовано управление по давлению с точностью поддержания ±2 бар;

– обеспечена полная функциональная эквивалентность штатной системе с расширенными возможностями (адаптивные режимы, расширенная диагностика).

На основе моделирования определён совокупный экономический эффект, который показан в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный экономический анализ

Показатель	Оригинальный ремонт	Предлагаемый ремонт с модернизацией	Эффект
Прямые затраты, тыс. руб.	1800	818	+982
Потери от простоя, тыс. руб.	2625	750	+1875
Эффект предотвращения убытков, тыс. руб.			+2857
Годовой прирост прибыли от оптимизации, тыс. руб.	0	1491	+1491

Расчёт интегральных показателей за 5 лет показал, что прибыль от проекта составляет 6800 тыс. руб., а срок окупаемости – менее года.

Новизна работы заключается в:

1) разработке комплексной методики перехода с закрытой системы управления на открытую отечественную платформу для специализированного пищевого оборудования;

2) практической реализации синтеза отечественного ПЛК Optimus Drive и сети EtherCAT для задач управления высокодинамичным гидравлическим приводом;

3) количественной оценке двойного экономического эффекта (от предотвращения катастрофических убытков и от повышения операционной эффективности).

В работе представлена и успешно апробирована технология глубокой модернизации систем управления импортного оборудования. Доказано, что переход на открытую платформу на базе отечественных ПЛК и промышленных сетей является технически осуществимым, экономически эффективным и стратегически целесообразным. Создан работоспособный аппаратно-программный комплекс, превосходящий по гибкости исходную систему. Экономический эффект от внедрения превышает 2,8 млн руб. единовременно и 1,5 млн руб. ежегодно. Разработанная методика является тиражируемой и может быть применена для модернизации широкого класса аналогичного оборудования, внося вклад в решение проблемы импортозамещения в промышленной автоматизации.

Список литературы

1 Петров, А.В. Проблемы жизненного цикла импортного оборудования в пищевой промышленности / А.В. Петров // Вестник машиностроения. – 2023. – № 5. – С. 45-49.

2 EtherCAT Technology Group. EtherCAT – The Ethernet Fieldbus [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ethercat.org

3 Техническая документация на ПЛК Optimus Drive MX308. – ЭСИ, 2023.

4 Романов, С.К. Экономическая оценка эффективности модернизации АСУ ТП / С.К. Романов // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 8. – С. 34-38.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧАСТКА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

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

Автоматизация участка фрезерной обработки деталей позволяет повысить производительность, точность обработки, снизить влияние человеческого фактора и расширить возможности производства. Основные направления автоматизации включают внедрение станков с ЧПУ, программного обеспечения, систем мониторинга и роботизированных решений [1].

Фрезерные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) – ключевое звено автоматизации. Они выполняют обработку по заранее заданной программе, минимизируя участие оператора. Современные станки могут быть: трехосевыми, четырехосевыми, пятиосевыми – в зависимости от количества управляемых осей, что определяет сложность обрабатываемых деталей; вертикальными или горизонтальными – в зависимости от расположения шпинделя; с автоматической сменой инструмента – что позволяет выполнять несколько операций без переоснастки.

Преимущества станков с ЧПУ:

– высокая точность и повторяемость обработки;

– возможность обработки сложных геометрических форм;

– сокращение времени на настройку оборудования.

Примеры систем управления, применяемых на фрезерных станках с ЧПУ:

– NC Studio – совместима с большинством фрезерных станков, поддерживает сложные управляющие программы;

– Richauto – работает без подключения к компьютеру, программы загружаются через USB;

– Mach3/Mach4 – популярные программы для управления станками с ЧПУ, поддерживают до 6 осей.

Для автоматизации необходимы CAD/CAM-системы, которые создают 3D-модели деталей и генерируют управляющие программы (G-код) для станков.

Популярные программы в этом сегменте:

– Fusion 360 – объединяет CAD и CAM, поддерживает 2D- и 3D-моделирование, подходит для фрезерной и лазерной обработки;

– SolidWorks – профессиональная система для 3D-моделирования и создания управляющих программ;

– ArtCAM – используется для плоского и объёмного моделирования, построения траектории движения фрезы.

Подобное программное обеспечение позволяет не только создавать модели деталей, разрабатывать программы их обработки, но и обладает дополни-

тельными возможностями, позволяющими повысить эффективность работы оборудования. Такими дополнительными возможностями являются:

– симуляция обработки для выявления ошибок до запуска станка (рисунок 1);

– интеграция с системами MES/ERP для планирования производства и учёта ресурсов;

– адаптация под конкретные задачи с помощью макросов и скриптов.

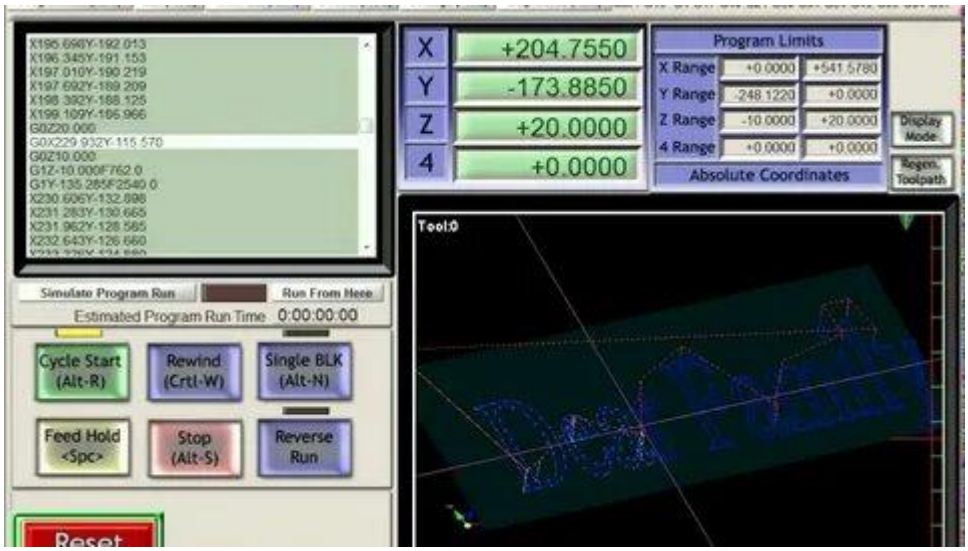


Рисунок 1 – Пример симуляции обработки

Третьим направлением автоматизации можно считать системы мониторинга и предиктивное обслуживание.

Системы мониторинга предназначены для контроля за процессом обработки и состоянием оборудования в режиме реального времени. На оборудование устанавливается дополнительное оборудование, способное снимать показания со штатных систем станка и системы ЧПУ. Датчики и системы контроля отслеживают параметры процесса обработки (вибрация, температура, сила резания) в реальном времени, что позволяет:

– оптимизировать режимы работы;

– предсказывать неисправности и износ инструментов;

– сокращать незапланированные простои.

MES-системы (Manufacturing execution system) и MOM-системы (Manufacturing operations management) – это инструменты для оптимизации производственных процессов. Интеграция с системами MES/MOM позволяет координировать работу оборудования, контролировать сроки исполнения заказов и качество продукции.

Следующим направлением автоматизации фрезерных участков можно считать роботизацию и автоматизация транспортировки, складирования и установки/снятия на станок деталей. В этой области для повышения производительности используются:

– роботизированные манипуляторы – интегрируются с конвейерными системами для непрерывной подачи заготовок и снятия готовых деталей;

– автоматизированные системы загрузки/выгрузки – портальные загрузчики, накопители паллет;

– системы технического зрения – распознают типы деталей и выбирают нужную программу обработки.

При принятии решения по автоматизации фрезерного участка следует обратить внимание на шаги, последовательное выполнение которых позволит получить максимальный эффект от внедрения современных подходов к автоматизации.

Рекомендованная последовательность действий следующая:

1) анализ производственных процессов – необходимо определить узкие места и задачи, которые можно автоматизировать;

2) выбор оборудования и ПО – необходимо учитывать тип обрабатываемых материалов, требуемую точность, масштаб производства и бюджет;

3) обучение персонала – квалифицированные операторы и программисты необходимы для эффективной работы автоматизированных систем;

4) создание резервных копий настроек – для быстрого восстановления работы при сбоях;

5) постепенное внедрение – следует начинать с полуавтоматических модулей, затем переходить к полной автоматизации.

При планировании автоматизации фрезерных участков существует ряд рисков, которые следует учитывать при разработке проекта:

– высокие начальные инвестиции в оборудование и ПО;

– возможные сбои в работе автоматизированных систем;

– зависимость от поставщиков оборудования и ПО;

– необходимость адаптации производственной инфраструктуры.

Автоматизация фрезерного участка необходимый и стратегический шаг, который требует тщательного планирования и комплексного подхода. Правильно выбранные технологии и ПО, а также квалифицированный персонал позволят повысить эффективность производства и конкурентоспособность предприятия. Автоматизация участка фрезерной обработки будет способствовать дальнейшему развитию предприятия, поскольку потребует последовательной автоматизации других участков механической обработки, а также вспомогательных производств и систем обеспечения функционирования производства.

Список литературы

1 Бородин, Д.А. Перспективы развития технологий числового программного управления / Д.А. Бородин, Д.В. Панюков // Сборник материалов XVII Всерос. научно-практической конференции с международным участием, 22-25 апр. 2025 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: К. С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2025. – С. 41902. – Режим доступа : https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2025/RM25/pages/Articles/41902.pdf. – 16.01.2026.

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОХРАНЫ ТРУДА

Валиуллина Ж.Р., Столыпина М.А.,
Черноусова А.М., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На сегодняшний день наблюдается тенденция перехода промышленных предприятий к принципу автоматизации производственных процессов. В связи с этим большинство из них предпочитают унифицированную систему управления производством, которая позволяет осуществлять в цифровом виде документооборот и различные дополнительные операции. Управление системой охраны труда – это сложный процесс в современных условиях, особенностью которого является ведение и архивирования огромного массива нормативных документов, отчётов, планов мероприятий, результатов медицинских осмотров, различного вида инструкция, карт средств индивидуальной защиты.

Увеличение спроса к отечественным программным решениям в сфере охраны труда – не случайное явление, они имеет прямую связь с двумя стратегическими направлениями, задаваемые на государственном уровне: сквозная цифровизация социально-трудовой сферы и технологический суверенитет [1].

Цифровая трансформация отрасли труда – государственная программа, реализуемая Минтрудом России в рамках национального проекта «Цифровая экономика». Целью программы является повышение эффективности государственного управления, создание удобных цифровых сервисов для бизнеса и граждан, переход на проактивную модель контроля, основанную на анализе данных рисков [2]. Импортозамещение и технологический суверенитет заключаются в обязательности использования отечественного программного обеспечения (ПО) для государственных и муниципальных нужд, согласно Постановлению Правительства №1236 от 16.11.2015 года [3]. Также для государственных компаний важен поэтапный переход на отечественное программное обеспечение, в том числе в сфере управления персоналом и охраной труда. Последствиями в результате цифрового импортозамещения являются: безопасность данных – информация об условиях труда, медицинских осмотрах, стабильность и поддержка – российские вендоры должны гарантировать непрерывную техническую поддержку, обновления и доработку функционала, с учетом изменений именно российского трудового законодательства [4].

Таким образом, выбор отечественного программного обеспечения для автоматизации охраны труда перестает быть вопросом только удобства и экономии. Данное решение подготовит предприятие к будущему, компания будет легко адаптироваться к требованиям законодательства.

Эффективная система охраны труда строится на множестве взаимосвязанных процессов, многие из которых остаются рутинными и ресурсозатрат-

ными при ведении документации в «бумажном» виде. Основные процессы охраны труда (ОТ), которые необходимо автоматизировать, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные процессы охраны труда

Процесс ОТ	Операции, которые необходимо автоматизировать
Управление документацией	Актуализация приказов, положений, инструкций Ведение электронных журналов (с ЭЦП) Отладка согласования служебных записок Контроль актуальности
Обучение и инструктажи	Планирование проведения занятий согласно графику Автоматические напоминания Пополнение и актуализация базы тестов и материалов Ведение электронных журналов инструктажей Определение области необходимой проверки знаний по ОТ
Управление рисками	Своевременное проведение специальной оценки условий труда (СОУТ) Идентификация проф. рисков: оценка и контроль (планы мероприятий)
Учет и контроль	Учёт выдачи и норм СИЗ Планирование медосмотров Расследование НС Применение корректирующие мероприятий
Отчетность	Формирование 4-ФСС и отчетов в Роструд Сбор статистической отчетности и внутренних аналитических отчетов
Мобильность	Проведение мобильных проверок и аудитов с фотофиксацией Оперативное реагирование Организация офлайн – работы

Выявленные и структурированные основные процессы позволяют перейти от теоретической модели к практическому выбору инструментария. Сформированные требования к функционалу становятся четкими критериями для анализа программных решений.

Рассмотрим некоторые программные средства, используемые при автоматизации бизнес-процессов именно с учетом российской нормативной базы.

Универсальные EHS-платформы (полный цикл ОТ и экологии) «ОТ-БАЛАНС» (1С-Рарус). Глубокая интеграция с 1С, а именно модули «Кадры», «Заработная плата», «Материально ответственные лица (МОЛ)», качественный функционал по средствам индивидуальной защиты и медицинским осмотрам.

Платформа фокусируется на комплексной автоматизация, финансовом контроле затрат на охрану труда. Подходит для крупных и средних предприятий промышленности, энергетики, добывающих отраслей [4].

«EOS.Охрана Труда» (ЭОС), включающая, как основу, систему управления документами, систему электронного документооборота (СЭД). Идеально для построения end-to-end (от зарождения идеи до конечного результата) процессов согласования, утверждения и хранения всех документов по охране труда. Платформа сфокусирована на документообороте, процессах согласования, архивирования. Подходит для организации с жёсткими требованиями к документообороту и регламентам [6].

«К3-Охрана Труда». Часто предлагается как модуль в составе корпоративных порталов или ERP – систем, допускается настройка модуля (кастомизация) под процессы заказчика. Подходит для крупных холдингов, уже использующих другие продукты разработчика.

К специализированным и облачным программным обеспечениям можно отнести программу «Охрана труда. Программный модуль» (КонсультантПлюс). Прямая работа с базой нормативных актов, возможность мгновенно проверять локальные документы на соответствие законодательству. Программа основывается на нормативной базе и актуальности документов. Подходит для широкого круга организаций, особенно там, где критически важна юридическая корректность.

«БиОТ» (Бизнес-Интеллект) / «MODUL.OT» и аналоги. Современный интерфейс, облачный SaaS-формат (не требует установки на сервер), гибкие тарифы, быстрый старт. Функции программы фокусируются на удобстве, мобильности, скорости внедрении, подойдет для среднего и малого бизнеса [6, 7].

Сравнительная таблица преимуществ каждой из программ представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ отечественных программных средств

Критерий	**ОТ – БАЛАНС**	**EOS. Охрана Труда**	**К3-Охрана Труда**	**Облачные решения (БиОТ и др.)**
Преимущество	Финансы+кадры+ОТ	Документооборот	Корпоративная интеграция	Мобильность и скорость
Формат	Коробка + 1С	СЭД-платформа	Модуль ERP	Облачный SaaS
Сложность/срок и внедрения	Высокая/Длительные	Средняя	Средняя/Высокая	Низкая/Быстрые
Целевая аудитория	Крупный бизнес	Крупный/средний бизнес	Крупные холдинги	Средний и малый бизнес
Ключевое преимущество	Глубокая интеграция с 1	Юридическая сила ЭДО	Единая IT-среда	Доступность и современный UX

Таким образом, рынок отечественного программного обеспечения для автоматизации охраны труда богат и предлагает решения для любого предприятия от малого до крупного. Главное преимущество состоит в снижении потен-

циальных рисков, предотвращение инцидентов и формирование культуры безопасности в целом.

Список литературы

1 Петров, А. И. Цифровые технологии в управлении охраной труда: тенденции и практика внедрения / А. И. Петров, С. К. Волкова // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 5. – 45 с.

2 Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Цифровая трансформация отрасли труда»: распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2021 г. № 3840-р // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202201040002 (дата обращения: 22.01.2026).

3 О подтверждении соответствия программ для электронных вычислительных машин и баз данных российскому происхождению: постановление Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2022 г. № 2086 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211180015 (дата обращения: 22.01.2026).

4 Федоров, М. П. Импортозамещение программного обеспечения как фактор развития отечественных EHS-систем/ М. П. Федоров // Информационные технологии в управлении предприятием (ИТУП-2024) : сб. тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 120 с.

5 Официальный сайт решения «EOS.Охрана труда». – Электронные данные. – НПО «ЭОС», 2024. – URL:https://www.eos.ru/eos-products/eos-upravlenie-personalom/okhrana-truda/ (дата обращения: 22.01.2026).

6 Система автоматизации управления охраной труда «ОТ-БАЛАНС». Версия 3.0: руководство администратора / ООО «1С-Рарус». – Москва, 2023. – 214 с.

7 Сравнительный анализ возможностей SaaS-решений для автоматизации охраны труда на российском рынке (2022–2023 гг.): аналитический отчет / НИУ ВШЭ, Центр цифровой трансформации. – Москва : Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. – 89 с.

8 Гордиенко, Д.А. Аутсорсинг в области охраны труда. Автоматизация процессов охраны труда: учебное пособие / Д. А. Гордиенко, В. В. Степанов. – Москва: Издательские решения, 2022. – 156 с.

9 О проведении эксперимента по внедрению цифрового профиля работника и работодателя, а также «цифрового инспектора труда»: постановление Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2022 г. № 1730 // Собрание законодательства РФ. – 2022. – № 41. – Ст. 7030.

ГИПЕРЗВУКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ: ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ВЛИЯНИЕ НА СТРАТЕГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ

[1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Панов В.Д.,
Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент,
Калинина И.С., канд. техн. наук,
[2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Современный этап развития военных технологий ознаменован переходом к новому поколению высокоточного оружия, среди которого гиперзвуковые комплексы (ГЗК) занимают одно из центральных мест. Особую значимость приобретают системы морского базирования (ГЗК МБ), развертываемые на надводных кораблях и подводных лодках. Их появление снижает эффективность существующих систем противоракетной обороны (ПРО). Актуальность темы определяется необходимостью переоценки принципов стратегической стабильности. Ряд исследователей констатируют факт наступления «гиперзвуковой революции» в средствах доставки, однако комплексное исследование именно морского компонента, его интеграции в оперативное искусство и влияние на кризисную стабильность остается недостаточно разработанным. Целью данной статьи является комплексный анализ оперативно-тактических возможностей ГЗК МБ и оценка их двойственного влияния на параметры стратегической стабильности. Для достижения цели поставлены задачи:

– систематизировать ключевые характеристики ГЗК МБ;

– проанализировать их оперативно-тактические преимущества перед традиционными системами;

– оценить влияние данных возможностей на стратегическое сдерживание и кризисную стабильность.

Исследование основывается на методологии системно-структурного анализа, позволяющего рассмотреть ГЗК МБ как элемент сложной системы стратегических взаимоотношений. Для оценки качественного скачка в возможностях применялся сравнительный анализ тактико-технических характеристик гиперзвуковых и дозвуковых/сверхзвуковых крылатых ракет морского базирования. Ввиду закрытости реальных данных использован метод экспертного анализа и условного моделирования на основе логики, выведенной из открытых источников. Проведен контент-анализ публикаций в специализированных изданиях и выступлений экспертов для выявления доминирующих оценок влияния ГЗК на стабильность.

Ключевым образцом ГЗК МБ является российский комплекс «Циркон» (рисунок 1).

Рисунок 1– ГЗК МБ «Циркон»

Условно принятые на основе открытых данных параметры включают: скорость полета до М = 8-9, дальность до 1000 км, полет по квазибаллистической траектории с активным маневрированием. Основными носителями выступают фрегаты проекта 22350 и многоцелевые атомные подводные лодки проекта 885М («Ясень-М»).

Сравнительный анализ выявил качественное превосходство ГЗК МБ по трем параметрам. Во-первых, гарантированный прорыв ПРО. Современные системы ПРО, такие как Aegis или THAAD, рассчитаны на перехват целей с предсказуемой траекторией. ГЗК, сочетая гиперзвуковую скорость с аэродинамическим маневрированием, создают нерешаемую для этих систем задачу, формируя феномен «зонтика неуверенности».

Во-вторых, радикальное сокращение времени поражения. Время подлета к цели на 500 км для ГЗК составляет около 6-7 минут, против 55 минут для дозвуковой ракеты. Это позволяет атаковать критически важные мобильные цели, для которых традиционные средства неприменимы.

В-третьих, высокая гибкость и скрытность применения. Развертывание на мобильных морских платформах, особенно на АПЛ, расширяет районы боевого дежурства и усложняет задачу упреждающего обнаружения.

Обладая указанными возможностями, ГЗК МБ оказывают двойственное влияние на стратегическую стабильность. С одной стороны, они объективно укрепляют стратегическое сдерживание. Подрывая эффективность ПРО противника, ГЗК МБ повышают надежность потенциала гарантированного ответного удара, что является краеугольным камнем стабильности. Это возвращает ситуацию к логике сдерживания, минуя соблазн создания оборонительного щита. С другой стороны, выявляются серьезные дестабилизирующие факторы, влияющие на кризисную стабильность.

Во-первых, это сжатие временного окна для принятия решений. Сокращение времени подлета до нескольких минут ставит под сомнение возможность политического руководства атакуемой стороны адекватно оценить ситуацию,

установить характер атаки и принять взвешенное решение. Это повышает риск ответного удара по ложному предупреждению.

Во-вторых, проблема двусмысленности. При запуске ГЗК противник не может оперативно определить, оснащена ли боеголовка обычным или ядерным зарядом. В условиях острого кризиса такая неопределенность может подтолкнуть сторону к эскалационным действиям, исходя из наихудшего сценария.

В-третьих, соблазн упреждающего обезоруживающего удара. Высокая эффективность ГЗК МБ против стационарных ключевых целей может создать мотивацию для нанесения первого удара в кризисной ситуации для достижения превосходства.

Таким образом, ГЗК МБ создают парадокс: укрепляя общее сдерживание за счет гарантированного проникновения, они дестабилизируют ситуацию управления в кризисе.

Разработка, развертывание и асимметричное противодействие ГЗК требуют глубоких междисциплинарных компетенций в области аэродинамики [1], теплозащиты [2, 3], новых материалов и систем управления [4, 5]. Укрепление инженерно-технической подготовки является ключевым условием для обеспечения технологического суверенитета, формирования экспертного сообщества и создания технической основы для будущих мер стабильности.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы. Гиперзвуковые комплексы морского базирования представляют собой качественный скачок в военно-морских вооружениях. Их ключевые преимущества – гарантированный прорыв ПРО, минимальное время подлета и высокая мобильность – трансформируют подходы к морскому сдерживанию. Влияние ГЗК МБ на стратегическую стабильность носит противоречивый характер. Они усиливают потенциал ответного удара, укрепляя основы сдерживания, но одновременно серьезно подрывают кризисную стабильность из-за критического сокращения времени на принятие решений и порождаемой неопределенности. Практическая значимость исследования заключается в указании на приоритетность задач кризис-менеджмента и мер доверия в условиях распространения гиперзвуковых технологий. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка инженерных методов и технических средств для парирования угрозы гиперзвуковых комплексов. Это включает в себя создание новых принципов обнаружения и отслеживания гиперзвуковых целей, проектирование систем активной и пассивной защиты, а также развитие асимметричных технологий для снижения оперативной эффективности ГЗК МБ.

Список литературы

1 Леонов, А.Г. Особенности компоновочных и аэродинамических схем летательных аппаратов при больших сверхзвуковых скоростях [Электронный ресурс] / А.Г. Леонов, Ю.А. Прохорчук // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №3(15). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-komponovochnyh-i-aerodinamicheskih-shem-letatelnyh-apparatov-pri-bolshih-sverhzvukovyh-skorostyah (дата обращения: 28.01.2026).

2 Боровой, В.Я. Экспериментальные исследования теплообмена и теплозащиты гиперзвуковых летательных аппаратов [Электронный ресурс] / В.Я. Боровой // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2000. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-teploobmena-i-teplozaschity-giperzvukovyh-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 28.01.2026).

3 Коптев, А.О. Теоретические аспекты управления прочностью и тепловыми режимами гиперзвуковых летательных аппаратов [Электронный ресурс] / А.О. Коптев // НАУ. – 2021. – № 66-1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-upravleniya-prochnostyu-i-teplovymi-rezhimami-giperzvukovyh-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 28.01.2026).

4 Утемов, С.В. Математическая модель автоматической лазерно-лучевой системы наведения гиперзвуковых ракет [Электронный ресурс] / С.В. Утемов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-avtomaticheskoy-lazerno-luchevoy-sistemy-navedeniya-giperzvukovyh-raket (дата обращения: 28.01.2026).

5 Утемов, С.В. Структурно-функциональные модели командных и автоматических лазерно-лучевых систем телеуправления в условиях помех [Электронный ресурс] / С.В. Утемов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 8. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strukturno-funktsionalnye-modeli-komandnyh-i-avtomaticheskih-lazerno-luchevyh-sistem-teleupravleniya-v-usloviyah-pomeh (дата обращения: 28.01.2026).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЖИВУЧЕСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ БПЛА В СЛОЖНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

[1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение-высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Эксплуатационная надежность морских БПЛА (рисунок 1) – критическая задача современной морской робототехники. Под живучестью понимается способность конструкции корпуса сохранять целостность и выполнять основные функции при прогрессирующем накоплении повреждений в условиях длительного цикличного нагружения и комплексного воздействия агрессивной окружающей среды. Наиболее значимые деструктивные факторы включают высокоскоростные динамические удары волн, обледенение надводной части, абразивный износ от взвешенных частиц и электрохимическую коррозию в соленой воде. Анализ современного состояния научных исследований показывает, что вопросы гидродинамического совершенства, энергоэффективности и точности навигации морских БПЛА проработаны достаточно глубоко, вопросы нагрузок освещены фрагментарно и не системно. Наблюдается явный диссонанс между фундаментальными работами по разработке перспективных материалов и прикладными инженерными исследованиями, что делает теоретическое осмысление синергетического эффекта от комбинированных нагрузок актуальной научной задачей.

Рисунок 2– БПЛА морского базирования

Целью данного исследования стало обоснование концептуальных направлений развития материалов и конструктивных решений для качественного повышения живучести корпусов морских БПЛА. Для ее достижения решались следующие задачи: систематизация данных о современных и перспективных

материалах и конструкциях для корпусов; оценка потенциала интеграции систем структурного мониторинга (SHM), выявление ключевых нерешенных проблем и формулировка перспективных направлений дальнейших исследований. Объектом исследования выступали корпусные конструкции морских БПЛА катамаранного и монокорпусного корпусного типа, а предметом – теоретические аспекты и принципы обеспечения их живучести через осознанный выбор материалов, рациональных конструктивных решений и современных диагностических систем.

Методологическую основу составили методы сравнительно-сопоставительного анализа массива научных публикаций, монографий, обзоров и патентов по смежным тематикам, а также методы систематизации, классификации и обобщения для структурирования данных. Важную роль сыграло концептуальное моделирование, направленное на синтез новых предложений на основе выявленных закономерностей. Работа носит теоретический характер. Ее основная функция – не получение эмпирических данных, а структурирование существующего поля исследований и определение наиболее продуктивных векторов развития.

Проведенный анализ позволил выделить три взаимосвязанных направления повышения живучести.

Первое связано с эволюцией материалов: на смену традиционным эпоксидным стеклопластикам приходят углепластики с матрицами на основе высокопрочных термопластов (например, ПЭК), гибридные ткани, сочетающие углеродные и арамидные волокна, и наномодифицированные эпоксидные смолы [5]. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что введение в матрицу углеродных нанотрубок или наночастиц существенно повышает трещиностойкость материала, параметр критически важный при циклическом ударном нагружении.

Второе направление предполагает изменение конструктивных особенностей корпуса. Сэндвич-конструкции, состоящие из тонких прочных обшивок из углепластика и легкого заполнителя (ПВХ-пенопласт или соты), обладают высокой удельной жесткостью и способностью эффективно распределять энергию ударного воздействия за счет необратимой деформации углепластичного заполнителя [2, 4].

Третье направление – это интеграция систем структурного мониторинга на основе волоконно-оптических сенсоров с решетками Брегга. Встраивание таких сенсоров в материал силовых элементов корпуса позволяет детектировать зарождение и развитие микротрещин и расслоений на самой ранней стадии, прогнозировать остаточный ресурс и переходить к обслуживанию по фактическому техническому состоянию вместо планово-предупредительного [1, 3].

При этом выявлены существенные пробелы и методологические противоречия. Во-первых, сохраняется диссонанс между масштабами исследований, фундаментальные работы редко трансформируются в инженерные рекомендации, а прикладные разработки используют консервативные материалы. Во-вторых, отсутствуют комплексные модели деградации композитов в морских

условиях, учитывающие синергетическое взаимодействие всех факторов разрушения. В-третьих, не решена проблема цены живучести. Внедрение передовых материалов из систем SHM повышает себестоимость, но отсутствуют экономические модели для оценки баланса между капитальными затратами и выигрышем от увеличения межремонтного ресурса и снижения рисков.

На основе критического осмысления этих проблем предложена новая концепция – переход от «пассивной живучести», основанной на статическом запасе прочности, к «активной» или прогностической живучести. Ее ядро – идея интеллектуальной корпусной конструкции, сочетающая адаптивную сэндвич- или гибридную архитектуру, материал с повышенной трещиностойкостью и вязкостью разрушения, а также встроенную распределенную сенсорную сеть для оценки состояния прогнозирования ресурса. Эта концепция составляет основную теоретическую новизну работы. Такая система не просто выдерживает внешние воздействия, но и адаптирует маршрут или режим движения аппарата для минимизации дальнейших рисков, что кардинально повышает его автономность и надежность в нештатных ситуациях. Этот концепт составляет основную теоретическую новизну работы.

Таким образом, обеспечение живучести корпусов морских БПЛА в сложных погодных условиях – комплексная междисциплинарная задача, которая требует синтеза знаний из материаловедения полимерных композитов, механики деформируемого твердого тела, гидродинамика удара, системной интеграции и анализа данных. Наиболее перспективным представляется сочетание сэндвич или гибридных конструктивных схем, новых поколений композитов с наномодифицированными или термопластичными матрицами и интеграции волоконно-оптических систем (SHM). Теоретическое значимое исследование заключается в систематизации разрозненных трендов и обосновании новой проектной парадигмы, концепции «активной живучести». Практическая ценность заключается в формировании четкого концептуального вектора для последующих опытно-конструкторских работ и выделении ключевых проблемных узлов, требующих первоочередного внимания. В контексте образования подчеркивается критическая важность междисциплинарности и системного инженерного мышления. Подготовка специалистов должна включать развитие способности видеть и анализировать сложные взаимосвязи между микроструктурой материала, конструктивными решениями, алгоритмами обработки данных и принципами построения жизненного цикла изделия.

В качестве перспективных направлений дальнейших исследований выделены: разработка интегральных теоретико-экспериментальных моделей накопления повреждений в гибридных композитах с учетом реального спектра эксплуатационных факторов; оптимизация архитектуры и алгоритмов работы сенсорных систем (SHM) для типовых корпусных конструкций БПЛА; создание апробированных методик технико-экономического и стоимостного обоснования; внедрение инновационных решений на всех этапах жизненного цикла изделия.

Список литературы

1 Денисенко, П.Е. Волоконно-оптическая мультисенсорная система мониторинга комплектных распределительных устройств [Электронный ресурс] / П.Е. Денисенко, Е.П. Денисенко, Р.Ш. Мисбахов, А.Н. Васев, В.А. Иваненко // ИВД. 2018. – № 4 (51). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskaya-multisensornaya-sistema-monitoringa-komplektnyh-raspredelitelnyh-ustroystv (дата обращения: 28.01.2026).

2 Мишкин, С.И. Применение углепластиков в конструкциях беспилотных аппаратов (обзор) [Электронный ресурс] / С.И. Мишкин // Труды ВИАМ. – 2022. – № 5 (111). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-ugleplastikov-v-konstruktsiyah-bespilotnyh-apparatov-obzor (дата обращения: 28.01.2026).

3 Нуреев, И.И. Сенсорные пассивные оптические сети и ключевые вопросы применения в них волоконных брэгговских решеток [Электронный ресурс] / И.И. Нуреев // ИВД. – 2016. – № 2 (41). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sensornye-passivnye-opticheskie-seti-iklyuchevye-voprosy-primeneniya-v-nih-volokonnyh-breggovskih-reshetok (дата обращения: 28.01.2026).

4 Павлов, М.С. Оптимальное проектирование корпуса беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] / М.С. Павлов, А.К. Каравацкий, К.В. Костюшин, К.К. Исмаилов, Н.О. Костюшина, С.А. Орлов // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. – 2021. – № 73. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnoe-proektirovanie-korpusa-bespilotnogo-letatelnogo-apparata (дата обращения: 28.01.2026).

5 Путилина, П.М. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития [Электронный ресурс] / П.М. Путилина, К.Е. Куцевич, А.Ю. Исаев // Труды ВИАМ. – 2023. – № 8 (126). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/polimernye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-uglerodnyh-i-steklyannyh-volokon-dlya-izgotovleniya-detaley-bespilotnyh-letatelnyh (дата обращения: 28.01.2026).

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ

[1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение-высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Левитацией называется физический феномен, при котором объект удерживается в пространстве в состоянии парения, преодолевая притяжение Земли без какой-либо опоры. Это явление активно внедряется в различные научные и технические сферы. Одним из наиболее разработанных направлений является магнитная левитация. Примером масштабного применения служат поезда на магнитном подвесе. Однако использование магнитной левитации ограничено материалами, проявляющими необходимые магнитные свойства, такими как ферромагнетики. Для материалов, не обладающих этими свойствами, например, кремниевых пластин, требуются иные подходы [2, 4]

Левитационное состояние возникает, когда действие силы тяжести компенсируется иной силой или совокупностью сил, что приводит к балансу и статическому положению объекта в воздушной среде [0].

Существует несколько основных типов левитации, различающихся по природе вдерживающей силы. Акустическая левитация обеспечивает удержание объектов с помощью звуковых, чаще всего ультразвуковых, волн. Ее принцип основан на формировании стоячих волн, в узлах которых давление способно уравновесить вес небольших частиц. Теоретическое обоснование этого явления представлено Л. Кингом в 1934 году, а позже развито Л. П. Горьковым в 1961 году [1, 3].

Аэродинамическая левитация относится к наиболее простым и экономичным методам, при которых объект поддерживается направленным потоком газа. Однако турбулентность потока часто лишает систему стабильности в горизонтальной плоскости. Данный вид находит применение в аэродинамических испытаниях, сепарации частиц и учебных демонстрациях.

Магнитная левитация основана на применении сил магнитного поля для компенсации веса. В современной практике выделяют два способа её реализации:

- с использованием электромагнитов;
- на основе диамагнитных свойств материалов;
- с применением эффекта Мейснера в сверхпроводниках;
- левитация за счёт вихревых токов [4].

Рассмотрим систему, состоящую из двух постоянных магнитов, расположенных на одной вертикальной оси: малого магнита массой m и кольцевого магнита магнита массой M. Для состояния левитации сила магнитного взаимодействия между ними должна быть равна весу малого магнита. Изменение намагниченности элементов системы будет влиять на равновесное расстояние z между ними по вертикальной оси.

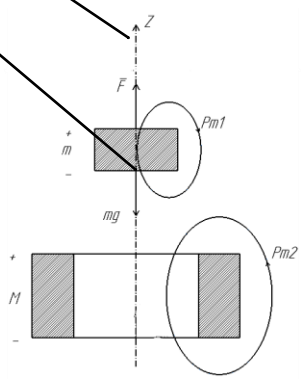


Рисунок 3 – Взаимодействие постоянных магнитов

Для оценки силы взаимодействия воспользуемся формулой

$$\mathrm{F} = \frac{3\mu * \mathrm{Pm}_1 * \mathrm{Pm}_2}{2\pi * \mathrm{z}^4} = mg, \qquad (1)$$

где μ – магнитная постоянная ($4\pi \times 10$^(-7) (Гн/м)); Pm_1 – магнитный момент малого магнита (А/м^2); $\mathrm{P}m_2$ – магнитный момент большого магнита (А/м^2); z – расстояние между магнитами (м); g – ускорение свободного падения (g = 9,8 м/с).

Магнитные моменты вычисляются через намагниченность

$$Pm = J * V, \qquad (2)$$

где J – намагниченность (А/м); V – объем магнита (м^3).

Измерение намагниченности на практике выполняется с помощью специализированных приборов – магнитометров, оснащенных датчиками Холла, магниторезистивными или иными сенсорами.

Ключевым для устойчивой левитации является возникновение эффекта магнитной потенциальной ямы. Это явление наблюдается при определенной конфигурации магнитов, когда на некотором расстоянии между ними устанав-

ливается положение устойчивого равновесия: они притягиваются на большом удалении, отталкиваются вблизи и находят баланс в промежуточной точке.

Потенциальная яма образуется благодаря специфическому распределению линий магнитной индукции (рисунок 2). В данной конфигурации линии кольцевого магнита взаимодействуют с полем малого магнита, обеспечивая его стабильное положение не только по вертикали, но и возвращая в центр при боковых смещениях.

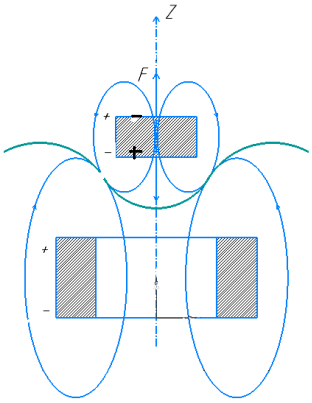


Рисунок 4 – Магнитная потенциальная яма

Если малый магнит помещен в пространство между двумя коаксиальными кольцевыми магнитами, образуется потенциальный эллипсоид, что существенно повышает общую стабильность системы.

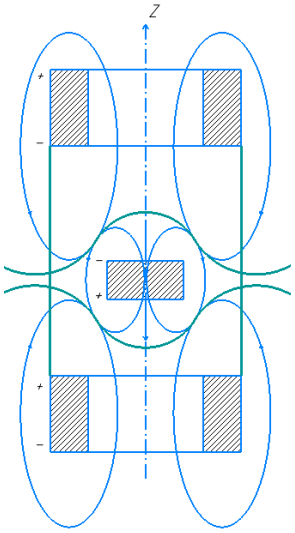


Рисунок 5 – Потенциальный эллипсоид

Интересный эффект возникает при наклоне левитирующего магнита: его вес раскладывается на составляющие вдоль осей X и Z. Горизонтальная компонента может вызывать контролируемое движение магнита вдоль поверхности (рисунок 4), в то время как вертикальная продолжает поддерживать левитацию.

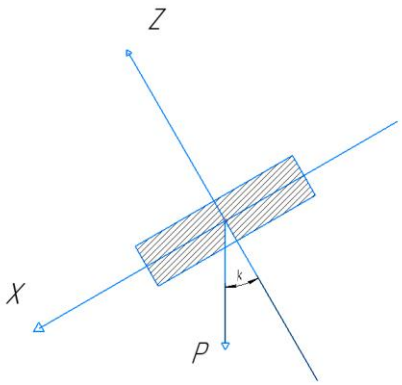


Рисунок 6 – Распределение сил при повороте магнита

Исследование подтвердило, что стабильная левитация постоянного магнита обеспечивается формированием магнитной потенциальной ямы. Использование трёхмагнитной системы, создающей потенциальный эллипсоид, существенно повышает устойчивость.

Особый интерес представляет эффект управляемого перемещения магнита при его повороте. Данные результаты перспективны для создания новых транспортных платформ, прецизионных левитирующих конструкций, систем управления движением и решений в аэрокосмической отрасли, открывая путь для дальнейшего развития технологий магнитной левитации.

Список литературы

1 Козлов, В.Г. Позиционирование легкой сферы в условиях вибрационного гидродинамического волчка [Электронный ресурс] / В.Г. Козлов, С.В. Субботин // Конвективные течения. – 2013. – № 6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pozitsionirovanie-legkoy-sfery-v-usloviyah-vibratsionnogo-gidrodinamicheskogo-volchka (дата обращения: 28.01.2026).

2 Орлов, В.А. Транспортные средства на магнитной подушке [Электронный ресурс] / В.А. Орлов // АЭЭ. – 2008. – № 7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/transportnye-sredstva-na-magnitnoy-podushke (дата обращения: 28.01.2026).

3 Сухарев, И.Г. Масса и гравитация [Электронный ресурс] / И.Г. Сухарев // Academy. – 2018. – № 7 (34). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/massa-i-gravitatsiya (дата обращения: 28.01.2026).

4 Техтиеков, В.И. Магнитная левитация [Электронный ресурс] / В.И. Техтиеков, Д.П. Долгов, В.Ю. Сафонова, А.А. Барсуков // Информация и образование: границы коммуникаций INFO. – 2020. – № 12 (20). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/magnitnaya-levitatsiya (дата обращения: 28.01.2026).

5 Уразаев, В. Инновации в технике: идеальность и ресурсный подход [Электронный ресурс] / В. Уразаев // Компоненты и Технологии. – 2008. – № 80. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-v-tehnike-idealnost-i-resursnyy-podhod (дата обращения: 28.01.2026).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ШЛЮЗА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В САПР КОМПАС-3D

Васильченко Ф. В., Решетов С. Ю., канд. техн. наук, доцент
Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Настоящая статья посвящена проектированию двухступенчатого планетарного редуктора [1, 2] для привода управления внутреннего шлюза космического летательного аппарата в САПР Компас-3D. Разработка высоконадежного редуктора для приводов систем герметизации космических аппаратов представляет собой сложную инженерную задачу. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания компактных и энерго-эффективных редукторных механизмов, способных обеспечивать точное позиционирование и высокий крутящий момент в условиях вакуума.

Научная новизна заключается в создании универсальной технологичной схемы многоступенчатого планетарного редуктора с последовательным соединением одинаковых ступеней механизма. Такой подход обеспечивает такие преимущества ка:

– стандартизация основных узлов механизма;

– упрощение производства, эксплуатации и ремонта, повышение технологичности;

– возможность масштабирования передаточного числа путем добавления одинаковых ступеней.

Целью работы является разработка двуступенчатого планетарного редуктора для привода механизма управления открытием внутреннего шлюза космического летательного аппарата.

Основные задачи исследования включают:

– расчет и оптимизацию зубчатых передач планетарного механизма;

– обеспечение необходимого передаточного отношения при минимальных массово-габаритных показателях;

– разработку конструкции корпусных деталей;

– проектирование подшипниковых узлов с повышенным ресурсом работы;

– подбор материалов для деталей редуктора и смазочных материалов.

Для достижения максимальной технологичности выбрана схема с последовательным соединением двух одинаковых ступеней. Благодаря этому редуктор становится значительно проще в сборке и производстве. При этом повышается его ремонтопригодность, имеет место возможность взаимозаменяемости элементов механизма (например, сателлитов разных ступеней).

Перед началом проектирования были выбраны рабочие параметры для шлюза космического аппарата, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры и условия работы шлюза космического аппарата

Параметр	**Значение**
Масса двери (m, кг)	54
Диаметр двери (D, м)	0,8
Прижимной момент ($M_{пр}$, Н·м)	120
Угол открывания (θ, рад)	π/2
Время открывания/закрывания (t, с)	3

Кинематическая схема разрабатываемого редуктора представлена на рисунке 1.

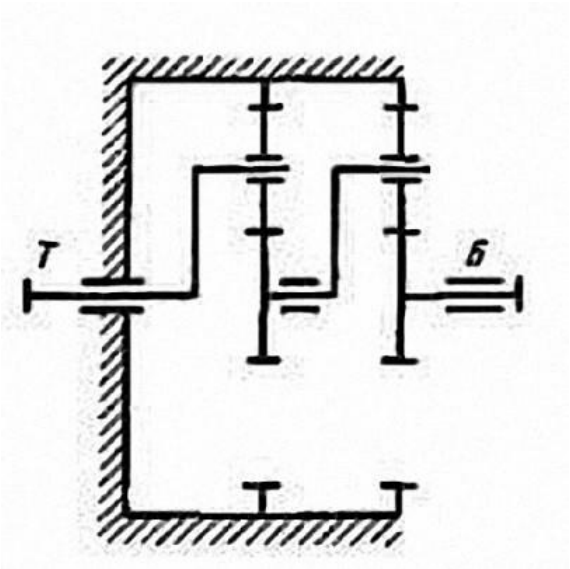


Рисунок 7 – Схема двухступенчатого планетарного редуктора

Для достижения максимальной технологичности выбрана схема с последовательным соединением двух одинаковых ступеней. Благодаря этому редуктор становится значительно проще в сборке и производстве, а также ремонтопригоднее, присутствует возможность взаимозаменяемости элементов механизма (например, сателлитов разных ступеней).

В ходе расчетов были получены технические характеристики планетарного редуктора, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики планетарного редуктора

Параметр	**Значение**
Передаточное число редуктора	64
Частота вращения выходного вала, об/мин	4,96
Мощность на выходном валу, Вт	82,65
Крутящий момент на выходном валу, Н·м	132,14

Для проектирования основных деталей (валы, зубчатые колёса, сателлиты) планетарного редуктора была выбрана сталь 40ХН ГОСТ 4543-2016, отли-

чающаяся высокими механическими характеристиками и отличной износостойкостью.

В ходе расчета зубчатых передач планетарного механизма по стандартным методикам были получены следующие значения для количества зубьев и числа сателлитов, представленные в таблице 3. Зубчатые передачи планетарных механизмов рассчитываются аналогично зубчатым передачам цилиндрических редукторов [3 – 5].

Таблица 3 – Число зубьев и количество сателлитов в ступени

Параметр	**Обозначение**	**Значение**
Число зубьев солнечного колеса	z_s	18
Число зубьев сателлита	z_p	54
Число зубьев короны	z_r	126
Число сателлитов	n_w	3
Передаточное отношение	$u_{ст}$	8

Параметры, приведенные в таблице 3, удовлетворяют условиям соосности, соседства и сборки, что особенно важно для проектирования планетарных передаточных механизмов.

Обеспечение необходимого передаточного отношения при минимальных габаритных показателях обеспечивается комплектом из BLDS-двигателя (бесщеточного двигателя постоянного тока) и контроллера, который будет регулировать обороты двигателя. В качестве рабочего возьмем плавное вращение двигателя – 320 об/мин.

Редуктор помещается в цилиндрический корпус, который герметично закрывается сверху и снизу крышками при помощи трех шпилек, на резьбовые концы которых накручиваются гайки, чем достигается необходимое прижимное усилие. Две шпильки бо̀льшего диаметра, аналогичного крепления предназначены для закрепления на них несущих пластин установки и переноски редуктора. На нижней части редуктора предусмотрены штуцеры для подвода смазочного материала и откачки отработанного масла. В центральной части крышек предусмотрены отверстия для валов с уплотнительными манжетами. Все элементы конструкции представлены на рисунке 2.

При проектировании подшипниковых узлов применялись двухрядные сферические шариковые подшипники. Они обеспечивают надежность, плавность хода и возможность самоустановки, при использовании вспомогательных деталей (плавающей втулки и шлицевого соединения с зазором). Кроме двухрядных использовались также однорядные шарикоподпники, разделенные дистанционной втулкой, в количестве двух штук на выходном валу.

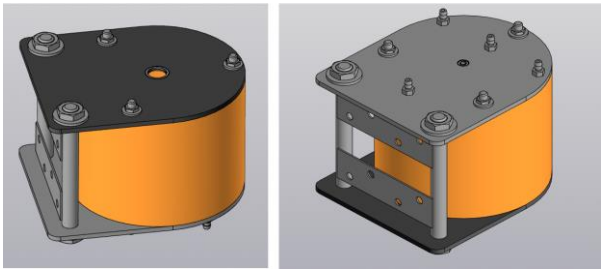


Рисунок 2 – Конструкция корпуса и крышки планетарного редуктора

На основании ГОСТ 13076-86 [6] для планетарного редуктора космического назначения выбрано масло авиационное ВНИИНП-50-1-4ф.

По итогам проектирования построен сборочный чертеж, выполнена деталировка, а также заполнена спецификация на изделие. На рисунке 3 представлен сборочный чертеж.

На рисунке 3 можете вы можете видеть конструкцию планетарного механизма в разрезе на чертеже, а также фотографии с разных ракурсов трехмерной модели в разрезе и сечении. На рисунке видна система подачи смазки, представляющая из себя три трубопровода, в которые масло подводится через штуцеры от внешней ёмкости.

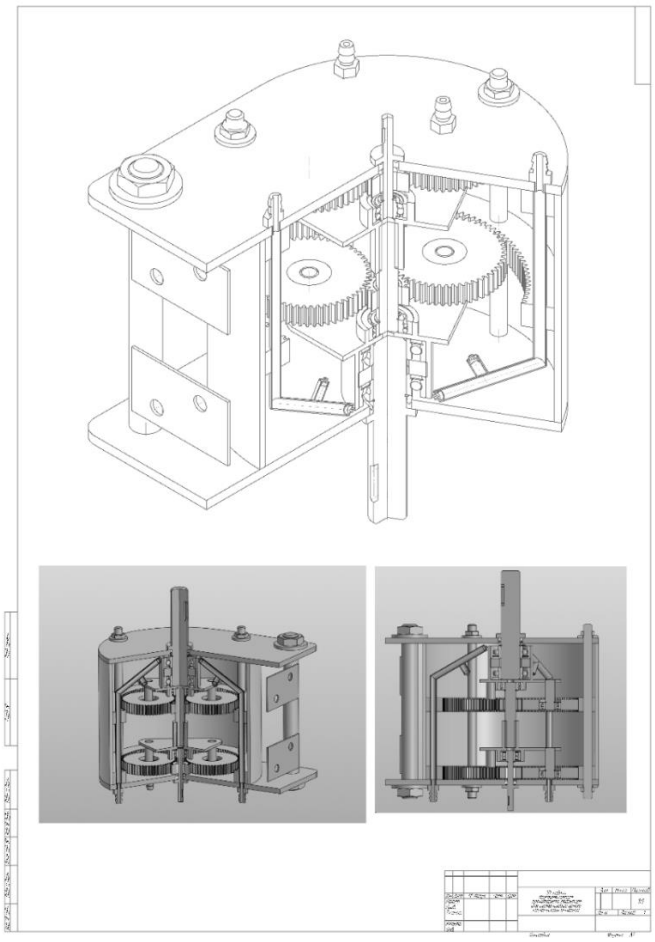


Рисунок 3 – Конструктивная схема двухступенчатого планетарного редуктора

В ходе исследования достигнуты следующие результаты:

– разработана трехмерная модель двухступенчатого планетарного редуктора с универсальным принципом последовательного соединения одинаковых ступеней; это решение обеспечило ключевые технологические преимущества: стандартизацию узлов, упрощение сборки, ремонтопригодность и возможность масштабирования передаточного числа;

– в конструкции подшипниковых узлов применены двухрядные сферические шариковые подшипники, что в сочетании с плавающей втулкой и шлицевым соединением с зазором позволило обеспечить необходимую самоустановку, надежность и плавность хода в условиях неизбежных монтажных и нагрузочных деформаций;

– комплексный подход к проектированию, включающий расчет зубчатых передач, выбор вакуумно-стабильного смазочного материала (ВНИИНП-50-1-4ф) с принудительной системой подачи и разработку герметичного корпуса, позволил создать модель редуктора, соответствующую жестким требованиям эксплуатации в составе внутреннего шлюза космического аппарата.

Результаты работы готовы для перехода к созданию полного пакета конструкторской документации и последующего изготовления.

Список литературы

1 Курмаз, Л.В. Детали машин. Проектирование: справочное учебно-методическое пособие / Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. – 2-е изд., испр.: М.: Высш. шк., 2005. – 309 с.: ил. – ISBN 5-06-004806-3.

2 Гончаров, Ю. А. Рациональное проектирование планетарных передач / Ю. А. Гончаров, О. Ю. Гончаров, И. А. Баранова // Вестник машиностроения, 2019. – № 7. – С. 3-7.

3 Расчет цилиндрических зубчатых передач: методические указания/ сост. М.В. Аввакумов, А.Б. Коновалов; СПб ГТУРП. – СПб., 2012. – 45 с.

4 Силаев, Б.М. Расчет и конструирование деталей авиационных механических передач: учебно-справочное пособие / Б.М. Силаев. – Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2008. – 150 с.: ил.

5 Маленков, М.И. Конструкционные и смазочные материалы космических механизмов: учебное пособие / М.И. Маленков, С.И. Каратушин, В.М. Тарасов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2007. – 54 с. – ISBN-5-85546-283-8.

6 Детали машин и основы конструирования: конспект лекций для студентов факультета летательных аппаратов / Б.М. Силаев. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм, ун-та, 2011 – 224 с.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ ДЛЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ И МАЛЫХ КОРАБЛЕЙ

[1]Васильченко Ф.В., Еремина Д.О., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Эволюция морского ракетного вооружения в XXI веке определяется двумя взаимосвязанными тенденциями: появлением малогабаритных носителей (безэкипажных катеров [5] и малых кораблей) и стремлением оснастить их эффективным высокоточным оружием. Создание компактных крылатых ракет является системным ответом на современные вызовы морской безопасности, требующие повышения гибкости, снижения заметности и стоимости применения сил. Эти ракеты позволяют легким платформам наносить точные удары по морским и береговым целям, преодолевая жесткие ограничения по внутреннему объему и массе носителей. Данное направление представляет собой комплексный процесс, где технические инновации, оперативные концепции и экономические факторы образуют единую систему, определяющую облик морских сил будущего.

Ключевой инженерной задачей является преодоление фундаментальных технических противоречий между габаритами, массой и боевой эффективностью. Решение достигается за счет глубокой оптимизации всех систем:

– конструкция и малозаметность: широкое применение композитных материалов с высокой удельной прочностью позволяет снизить массу корпуса. Аэродинамические формы и специальные покрытия разрабатываются с интегрированными технологиями снижения радиолокационной заметности («стелс»), что вытекает из тактического требования к скрытности носителя и оружия как единой системы;

– двигательная установка: для достижения требуемой дальности в 150-250 км при минимальных габаритах применяются малогабаритные турбореактивные или прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Разработка сосредоточена на снижении удельного расхода топлива и повышении надежности;

– система наведения: являясь «интеллектуальным центром», она должна быть предельно компактной. Современный стандарт — комбинированная система, включающая инерциальную навигацию с коррекцией по спутниковым сигналам и активную многоспектральную головку самонаведения (ГСН) на терминальном участке. Развитие многорежимных ГСН (оптико-электронных и радиолокационных) повышает всепогодность и помехозащищенность;

– боевая часть: несмотря на ограниченную массу, достигается высокая эффективность за счет прецизионного подрыва с помощью интеллектуальных

взрывателей и оптимального сочетания кумулятивного, осколочно-фугасного и проникающего действия.

Эти технические характеристики напрямую трансформируются в конкретные тактические преимущества. Возможность размещения значительного боекомплекта на множестве малозаметных носителей формирует основу для концепции распределенного и массированного удара. Группа катеров способна создать плотность огня, способную преодолеть продвинутую ПВО/ПРО, а рассредоточение потенциала резко повышает живучесть группировки. Универсальность ракет расширяет оперативные задачи легких сил, превращая их из средств охраны в инструмент решения стратегических задач. Интеграция в единые сетецентрические системы управления позволяет ракете в полете получать обновленное целеуказание от других платформ (самолетов ДРЛО, БПЛА, кораблей), обеспечивая поражение подвижных целей и переход от линейных тактических схем к сетевым.

Развитие продолжает ускоряться, следуя ключевым трендам:

– рост автономности: внедрение алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения для распознавания, селекции целей и принятия решений в условиях неполной информации;

– модульность: становление отраслевым стандартом, позволяющим на единую базовую платформу устанавливать различные виды полезной нагрузки для быстрой адаптации под задачу;

– повышение скорости: интенсивные исследования в области малогабаритных гиперзвуковых прямоточных двигателей (Маха 5+), способных кардинально сократить время подлета;

– групповое применение («роевой» интеллект [2, 4]): разработка концепций, при которых ракеты в залпе обмениваются данными, распределяют цели и координируют маневры.

Реализация этих программ требует преодоления значительных технологических и производственных вызовов. Критически важным является создание единой цифровой экосистемы проектирования для виртуальных испытаний и оптимизации.

Особое внимание уделяется микроэлектромеханическим системам (МЭМС) для инерциальной навигации [1, 3], алгоритмам сжатия и защиты данных для сетевого управления, а также аддитивным технологиям (3D-печати) для быстрого производства сложных компонентов. Стратегия развертывания включает интегрированную логистику (мобильные комплексы перезарядки, контейнеризированное хранение) и единые протоколы обмена данными (типа Link-16) для межвидового взаимодействия.

Широкое внедрение таких систем оказывает глубокое стратегическое и экономическое влияние. Стратегически это ведет к демократизации ударных возможностей на море, предоставляя малым флотам и прибрежным государствам мощный асимметричный потенциал, способный сместить баланс сил в прибрежных регионах. Экономически, несмотря на высокие первоначальные затраты на НИОКР, переход к флотилиям относительно дешевых безэкипажных

носителей снижает общие расходы на организацию флота. Отсутствие экипажа меняет расчет рисков, позволяя планировать более решительные операции, и превращает экономическую эффективность в ключевое стратегическое преимущество.

В конечном счете, разработка малоразмерных высокоточных крылатых ракет представляет собой не изолированное достижение, а системный трансформирующий фактор. Эта трансформация охватывает все уровни: от инженерных решений в области материаловедения и микроэлектроники до оперативно-тактических концепций распределенного боя и стратегических моделей строительства флотов. Перспективы связаны с конвергенцией технологий и созданием единой разведывательно-ударной экосистемы нового поколения, объединяющей воздушные, надводные и подводные беспилотные платформы. В этой новой реальности побеждает сторона, владеющая наиболее совершенной, живучей и когнитивной сетью, ядром которой являются компактные, умные и смертоносные ракеты. Их развитие окончательно закрепляет центральную роль малоразмерных высокоточных систем в эволюции военно-морских сил, предлагая модель морской мощи, основанную на превосходстве в информации, скорости принятия решений и точности воздействия.

Важнейшим условием и фундаментом подобной технологической и концептуальной трансформации выступает опережающее развитие образования. Только непрерывная подготовка высококвалифицированных инженеров, программистов, системных аналитиков способна обеспечить интеллектуальный капитал, необходимый для проектирования «умных» ракет, создания живучих сетей. Образовательные системы должны не просто передавать знания, но и формировать междисциплинарное мышление, способность к быстрой адаптации и синергическому творчеству на стыке таких областей, как искусственный интеллект, кибернетика и робототехника. образом, инвестиции в образование — это стратегические инвестиции в национальную безопасность и технологический суверенитет, создающие ту критическую массу талантов, которая превращает концепции будущего в реальное превосходство на поле боя и в глобальной технологической конкуренции.

Список литературы

1 Голощапов, А.П. Применение МЭМС-технологии в навигации [Электронный ресурс] / А.П. Голощапов // Компоненты и Технологии. – 2014. – № 4 (153). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-mems-tehnologii-v-navigatsii (дата обращения: 29.01.2026).

2 Иванов, Д.Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Д.Я. Иванов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-roevogo-intellekta-dlya-upravleniya-gruppami-malorazmernyh-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 29.01.2026).

3 Константян, В.Н. Система инерциальной навигации комплекса симуляции полета [Электронный ресурс] / В.Н. Константян, Р.С. Нахушев, У.М. Яхутлов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-inertsialnoy-navigatsii-kompleksa-simulyatsii-poleta (дата обращения: 28.01.2026).

4 Ситников, А.В. Анализ существующих систем роевого интеллекта для координированного полета дронов самолетного типа [Электронный ресурс] / А.В. Ситников, А.Р. Харисов // Вестник науки. – 2025. – № 12 (93). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-sistem-roevogo-intellekta-dlya-koordinirovannogo-poleta-dronov-samoletnogo-tipa (Дата обращения: 28.01.2026)

5 Шипилов, И.С. Безэкипажный катер для подразделений МВД России: основные задачи применения и технические характеристики [Электронный ресурс] / И.С. Шипилов, В.И. Сушков, И.А. Кубасов // Вестник ВИ МВД России. – 2024. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bezekipazhnyy-kater-dlya-podrazdeleniy-mvd-rossii-osnovnye-zadachi-primeneniya-i-tehnicheskie-harakteristiki (дата обращения: 28.01.2026). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-sistem-roevogo-intellekta-dlya-koordinirovannogo-poleta-dronov-samoletnogo-tipa

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК

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

Процесс механической обработки металлов и других материалов на фрезерных станках является важной и распространённой составляющей в машиностроении и производстве. Однако традиционная технология загрузки заготовок на фрезерные станки часто требует значительных трудозатрат, временных затрат и может приводить к уменьшению точности и качества обработки. В связи с этим, автоматизация этого процесса становится всё более актуальной задачей, выполняя важную роль в повышении производительности и улучшении конкурентоспособности производств в современных условиях.

В последние годы существует значительное количество исследований, посвящённых автоматизации производственных процессов. Например, работы, посвящённые роботизированным комплексам, показывают, что применение таких систем может снизить влияние человеческого фактора и ускорить процессы загрузки и выгрузки заготовок. Также рассматриваются системы автоматического позиционирования и датчики контроля, которые позволяют повысить точность загрузки [4].

Тем не менее, несмотря на достижения, наблюдается прогресс лишь в отдельных областях. Большинство существующих решений предлагают частичные улучшения, в то время как комплексный подход к автоматизации загрузки заготовок на фрезерные станки остаётся недостаточно разработанным. В большинстве случаев отсутствует интеграция различных технологий и автоматизированных систем, что приводит к проблемам совместимости.

Необходимость создания более эффективных и универсальных систем автоматизации процессов загрузки на фрезерные станки обусловлена не только требованием повышения производительности, но и стремлением минимизировать ошибки и повысить качество изделий. В условиях современного производственного цикла с требованием максимальной точности и быстроты выполнения заказов, компании сталкиваются с необходимостью оптимизации.

В данной работе предполагается, что использование роботизированных систем и современных технологий управления процессами, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, может значительно повысить эффективность автоматизации загрузки заготовок на фрезерные станки. Реализация таких систем позволит производителям достигнуть высокой степени автоматизации, снизить затраты на рабочую силу и улучшить качество конечной продукции.

Актуальность темы автоматизации процесса загрузки заготовок на фрезерные станки нельзя переоценить. В условиях высокой конкуренции и расту-

щих требований к качеству и скорости производства, компании вынуждены искать новые пути оптимизации производственных процессов. Автоматизация является ключом к повышению эффективности и снижению затрат, что делает эту область исследования критически важной.

С каждым годом машиностроительная отрасль становится все более конкурентной, что требует от производителей оптимизации процессов и повышения производительности. Автоматизация загрузки заготовок на фрезерные станки – одна из ключевых проблем, которые необходимо решить для обеспечения эффективности и снижения затрат [1].

При выборе устройства для автоматизации загрузки заготовок на фрезерный станок учитывают, например:

– вместимость штучных заготовок – должна быть достаточной для непрерывной работы оборудования без участия человека (минимум 15 минут);

– ориентация заготовки относительно оборудования;

– наличие транспортных составляющих для доставки заготовок в рабочую зону;

– способность устанавливать заготовки в рабочие позиции;

Устройства для автоматизации загрузки заготовок могут быть интегрированы с системами числового программного управления (ЧПУ). Управляющая программа задаёт координаты для каждой точки траектории движения заготовки и координирует работу исполнительных механизмов.

Примеры проектов:

– внедрение роботизированных загрузочных систем. Например, система REDLOAD BASIC 20 (рисунок 1), которая загружает заготовки из магазина заготовок коллаборативным роботом REDS. Есть возможность установить двойной захват для загрузки заготовки и выгрузки готового изделия из станка за один цикл;

Рисунок 1 – Система REDLOAD BASIC 20

– использование свободных позиций револьверных головок для загрузки заготовки и выгрузки готовой детали в полуавтоматическом режиме. Например, в многофункциональном токарно-фрезерном центре Super NTX-W (рисунок 2) задействуют свободные позиции револьверных головок: одну для загрузки заготовки, другую для выгрузки готовой детали.

Рисунок 2 – Токарно-фрезерный обрабатывающий центр с фрезерным шпинделем Nakamura-Tome Super NTX

Традиционные методы загрузки заготовок на фрезерные станки часто обеспечивают низкую скорость и точность, что может приводить к сбоям в производственном процессе. Основные проблемы включают в себя:

– трудозатраты – невероятные усилия и ресурсы требуются для ручной загрузки заготовок, что может вызывать задержки и увеличивать затраты;

– ошибки при загрузке – человеческий фактор может влиять на неправильное позиционирование заготовок, что приводит к дефектам в конечной продукции;

– низкая гибкость – традиционные методы загрузки не всегда могут быстро адаптироваться к изменяющимся задачам или типам заготовок [2].

Существует множество решений, направленных на автоматизацию этих процессов. Использование роботизированных систем становится основным направлением в совершенствовании обработки на фрезерных станках. Роботы могут эффективно загружать и выгружать заготовки, обеспечивая при этом высокую скорость и точность.

Роботизированные системы – интеграция манипуляторов позволяет значительно сократить время на загрузку, а современное программное обеспечение управляет их движениями, что позволяет повысить точность позиционирования.

Применяемые типы манипуляторов могут быть выбраны из широкого спектра вариантов, представленных в настоящее время на рынке. Возможно применение как индивидуальных манипуляторов для каждого станка, так и манипуляторов с портальной системой перемещения, для обслуживания нескольких станков.

Интеллектуальные технологии – использование машинного обучения и искусственного интеллекта дает возможность системам самостоятельно адап-

тироваться к изменениям условий работы. Например, алгоритмы могут анализировать рабочие циклы и определять наилучшие стратегии для загрузки заготовок.

Существуют последние разработки и исследования, которые подтверждают важность автоматизации. Например, компании, внедрившие автоматизированные системы в своих производственных процессах, сообщают о значительном снижении трудозатрат. В исследованиях показано, что роботизированные системы способны сократить время загрузки заготовок в два-три раза по сравнению с традиционными методами.

Перспективы внедрения и развития автоматизации в загрузке заготовок на фрезерные станки видятся в дальнейшей интеграции систем на основе искусственного интеллекта, которые могут не только точно загружать заготовки, но и предсказывать необходимое оборудование и конфигурации для выполнения конкретных задач. Это позволит добиться более высокого качества и оперативности в производственных процессах [5].

Таким образом, автоматизация загрузки заготовок на фрезерные станки станет важным этапом в оптимизации производственных процессов машиностроительной отрасли. Внедрение роботизированных систем в совокупности с технологиями машинного обучения и искусственного интеллекта открывает новые горизонты для повышения эффективности и качества обработки. Даже небольшие изменения в данной области могут принести значительные результаты, снизить затраты и улучшить результативность производственных процессов в условиях постоянного роста конкурентоспособности.

Список литературы

1 Лысенко, Э. В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами / Э. В. Лысенко. – М. : Радио и связь, 1987. – 271 с.

2 Елизаров, И. А. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры / И. А. Елизаров, Ю. Ф. Мартемьянов, А. Г. Схиртладзе; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». – Тамбов : ТГТУ, 2012. – 179 с.

3. Черников, Б. В. Информационные технологии управления : учебник / Б.В. Черников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. – 368 с.

4. Поляков, С. И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С. И. Поляков; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Воронежская гос. лесотехническая акад.». – Воронеж : ВГЛТА, 2008. – 372 с.

5. Поляков, С. И. Проектирование систем управления : учеб. пособие / С. И. Поляков, Н. П. Зуйкин; М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2001. – 133 с.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

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

Сборка корпусных изделий в промышленности представляет собой многоступенчатый процесс, требующий высокой точности и согласованности действий различных технологических операций. Корпусные конструкции нашли широкое применение в судостроении, авиации, автомобилестроении и других отраслях, где важна надежность и долговечность изделий. При этом традиционные методы сборки часто сталкиваются с проблемами, связанными с геометрическими отклонениями деталей, сварочными деформациями и вариативностью калибровочных зазоров, что снижает качество конечного продукта и увеличивает временные и финансовые затраты.

Автоматизация процесса сборки корпусных изделий стала ответом на эти вызовы, предлагая применение робототехнических комплексов, систем с числовым программным управлением (ЧПУ) и цифрового проектирования.

Одним из направлений развития процесса сборки можно считать использование холодной гибки обшивочных элементов и переход к каркасной основе для сборки, что позволяет снизить натяжения и внутренние напряжения в корпусных частях, улучшая посадку элементов и общую геометрию изделия. Кроме того, замена профильных прокатных деталей на листовые заготовки, вырезаемые на ЧПУ-станках, открывает возможности для более тонкой настройки размеров и форм отдельных компонентов. Это снижает шансы на отклонения, обусловленные неравномерностью профилей и их деформациями при традиционных методах изготовления.

Современные промышленные предприятия активно внедряют разнообразные технологии автоматизации для повышения эффективности и качества производства корпусных изделий. В металлообрабатывающих и судостроительных отраслях основным элементом такой автоматизации является применение сварочных роботов, управляемых с помощью автоматизированных систем. Автоматизация подготовки управляющих программ позволяет создавать сборочные операции без припусков, что существенно повышает точность и повторяемость изготовления конструкций. Для выполнения сварочных операций используется как роботизированное оборудование на стендах для плоских и объемных секций, так и мобильные устройства, обеспечивающие высокую гибкость производственного процесса [1].

Использование робототехнических комплексов в производстве корпусных изделий имеет еще один важный аспект – обеспечение устойчивости и экологичности процесса. Автоматизация способствует более рациональному использованию материалов, снижению отходов и улучшению условий труда. При высокой точности выполнения операций уменьшается количество брака, что

позволяет значительно экономить ресурсы и снижать негативное воздействие на окружающую среду, что становится все более актуальным для современных промышленных предприятий [2].

Робототехнические системы играют важную роль в автоматизации промышленных процессов, особенно при окончательной сборке корпусных изделий. Роботы (рисунок 1) выполняют механические операции, такие как сварка и позиционирование деталей, с высокой точностью и стабильностью. Оснащённые системами машинного зрения и специализированными захватами, они способны идентифицировать изделия на конвейере, гибко удерживать их и выполнять разнообразные движения, имитирующие человеческие. Это позволяет значительно снижать ошибки, возникающие при ручной работе, и повышать повторяемость операций [4].

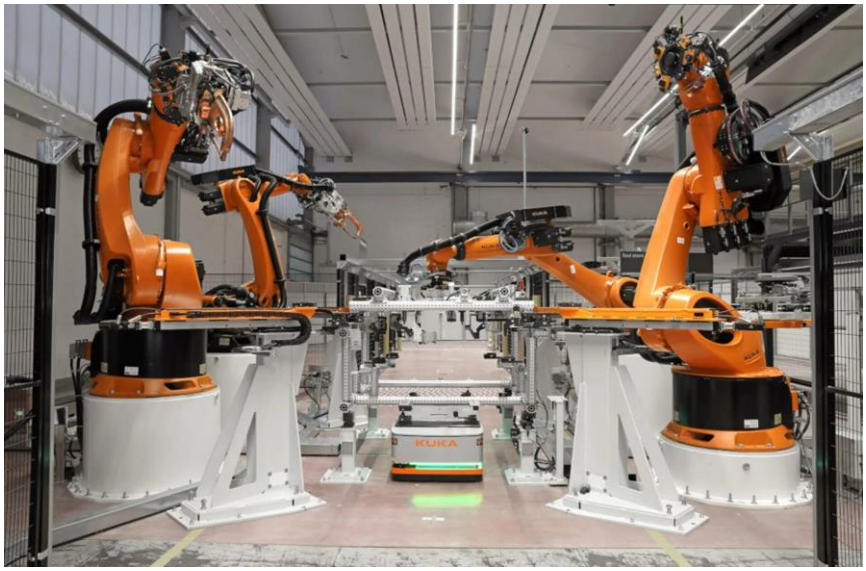


Рисунок 1 – Пример промышленных роботов

Важной функцией роботов на сборочных линиях является точное позиционирование деталей перед сваркой или креплением узлов. Использование систем технического зрения и контроля усилия обеспечивает корректное совмещение элементов, что критично для достижения высококачественных соединений и долговечности конструкции. Точность современных промышленных роботов позволяет достигать абсолютной погрешности позиционирования в пределах ±2,5 мм и однозначности в ±0,05 мм, что подходит как для крупных массивных элементов, так и для мелких сложных деталей.

Роботизация также способствует автоматизации контроля качества – благодаря интеграции с камерами и датчиками, роботы способны обнаруживать дефекты поверхности, зазоры или неправильное положение элементов в режиме реального времени. Такой контроль уменьшает количество брака, сокращает время переналадки и гарантирует соответствие изделий техническим требованиям без участия оператора.

Универсальность робототехнических систем является ключевым преимуществом: программное обеспечение позволяет быстро перенастраивать робота под новые операции и заготовки, что особенно актуально для предприятий с переменными производственными задачами и малыми сериями. Это способствует снижению затрат на переналадку и поддержание гибкости производства. Впечатляющая производительность роботов дает возможность ускорять цикл сборки, снижая утомляемость персонала и минимизируя риски человеческого фактора.

Внедрение автоматизированных технологий сборки корпусных изделий позволит увеличить производительность линии от 30 % до 40 %, что существенно ускорит прохождение технологических циклов и повысит объем выпускаемых деталей. Сокращение времени на операции сборки, позиционирования и контроля качества обеспечит снижение общего времени производства, что положительно скажется на соблюдении графиков и сокращении простоев оборудования [3].

Внедрение автоматизации также может способствовать оптимизации бизнес-процессов за счет сокращения ручного труда и улучшения взаимодействия между подразделениями. Делегирование рутинных и повторяющихся операций робототехническим комплексам снизит затраты на операционные издержки примерно на 15 %, а также повысит качество условий труда, снизит риск производственных травм и профессиональных заболеваний. Освобождение кадров от стандартных операций создаст возможности для концентрации усилий на творческих и управленческих задачах, что положительно скажется на инновационном потенциале предприятия.

Опыт российских предприятий, участвующих в национальном проекте по увеличению плотности промышленных роботов, показал, что переход на новые технологии требует значительных усилий по модернизации инфраструктуры и обучению персонала. Однако комплексный подход к внедрению автоматизации позволяет повысить конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках, ускорить технологическое обновление производств и снизить зависимость от человеческого фактора. Достижения в этих аспектах выступают примером успешного преобразования традиционных производственных линий в современные цифровые фабрики.

Интеграция робототехнических систем в процессы сборки обеспечивает стабильность и повторяемость операций, сокращает влияние человеческого фактора и повышает эффективность производственной линии. Современные роботы с системами машинного зрения и обратной связи позволят выполнить сложные операции позиционирования и сварки с высокой точностью, что дополнительно минимизирует количество брака и необходимость последующих доработок. Комплексный подход обеспечивает переход от традиционных методов к более совершенным и адаптированным под современные задачи промышленным решениям.

Список литературы

1 Веселков, В. В. Принципы реализации и развития технологии автоматизированного изготовления корпусных конструкций [Электронный ресурс] / В.В. Веселков, М.А. Кобец // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 1 (29). Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-realizatsii-i-razvitiya-tehnologii-avtomatizirovannogo-izgotovleniya-korpusnyh-konstruktsiy. – 20.01.2026.

2 Роль автоматизации в производстве стальных корпусов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metalloobrabotka.ru/blog/rol-avtomatizatsii-v-proizvodstve-stalnykh-korpusov/. – 20.01.2026.

3 Рубцов, А.А. Механизация и автоматизация производства : учебное пособие для профессионально-технических училищ / А.А. Рубцов, Ю.В. Воронин. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.

4 Технические средства автоматизации : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ИЗДЕЛИЙ ПЕРЕД КОНТРОЛЬНЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент, Ноздрюхин Е.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Контрольные операции на производстве применяются в течении всего процесса обработки. Первичный контроль производится при подаче заготовки перед обработкой, в процессе обработки производится промежуточный межоперационный контроль, после завершения обработки детали или после сборки изделия производится выходной контроль на соответствие требованиям нормативной документации.

На промышленных предприятиях при производстве используют различные виды обработки, связанные как со снятием слоя материала (резанием), так и с нанесением различным покрытий. При проведении обработки резанием применяют различные смазывающе-охлаждающие жидкости. После обработки в процессе хранения и транспортировки деталей, а также в процессе сборки изделий на них могут появляться загрязнения, которые при проведении контроля могут привести к недостоверности полученных результатов. В связи с этим возникаем необходимость в проведении подготовки изделий к контрольным испытаниям, а именно в очищении внутренних и наружных поверхностей от возможных загрязнений.

Подготовку можно производить различными методами, выбор которых зависит от материала изделия и от возможных загрязнений. Методы подготовки можно разделить на механические и химические. К механическим можно отнести полирование, галтовку, вибрационную обработку, струйно-абразивную обработку. Данные методы подготовки изделий чаще всего применяют для металлических изделий.

Химические методы включают в себя обезжиривание и промывку. Такие способы подготовки изделий применимы к любым видам материалов, как к металлам, так и к неметаллам.

Каждая операция подготовки преследует определенную цель. Например, механической обработкой удаляют продукты коррозии, неровности, заусенцы и придают поверхности декоративный внешний вид. Химическим и электрохимическим обезжириванием удаляют жировые и масляные загрязнения. Травлением и активацией оксиды и пассивные пленки [1].

Выбор методов подготовки изделий связан с последующим процессом контрольных испытаний и с предыдущим этапом обработки. Наиболее часто применяемые методы – это промывка изделий методом окунания или методом струйного облива, и обязательная сушка изделий методом обдува.

Метод химической обработки происходит внутри агрегата трёхзонного действия, в котором проводится две ступени промывки изделий в воде и одна в

обезжиривающем растворе. В первой ванне детали очищаются от пыли и прилипшей грязи, во второй поверхность очищается нагретым мыльным раствором более тщательно, и в ванне для обезжиривания поверхность полностью очищается от солей, жиров и после обдувки теплым воздухом под давлением детали готовы к контрольным испытаниям.

Технологический процесс, представленный на рисунке 1, подготовки поверхностей деталей осуществляется при помощи специальных установок и агрегатов, таких как: агрегат для удаления пыли с деталей, агрегат промывки и химической очистки, а также установка для обдува деталей воздухом и устройства транспортировки деталей – подвесного конвейера. Процесс подготовки осуществляется конвейерным способом. Конвейер, используемый в процессе подготовки изделий, подвесной, непрерывного действия [2].

Рисунок 1 – Процесс подготовки изделий к испытаниям

Агрегат удаления пыли с деталей после механической очистки является конвекционным, обеспечивающим удаление пыли с поверхностей деталей.

Агрегат трехзонного действия, в свою очередь, включает в себя две ста-

дии промывки и стадию обезжиривания деталей. Промывочные камеры позволяют осуществлять промывку поверхностей изделий любой конфигурации за установленное время в пределах от 5 минут до 10 минут. В первой камере детали промываются простой технической (водопроводной) водой, где с них смывается пыль и загрязнения, оставшиеся после предыдущих этапов очистки, во второй детали промываются мыльной нагретой до температуры от 35 °С до 50 °С водой и после этого, в третьей камере обрабатываются специальным раствором, содержащим обезжиривающие вещества (ацетон, бензол и так далее). Промывка деминерализованной водой (обессоленной) позволяет очистить поверхность от жировых образований, солей и кислот, способных вызвать, или способствовать образованию коррозии.

Процессы промывки обессоленной и технической водой занимают порядка 5 минут каждый и проходят при диапазоне температур воды от 15 °С до 50 °С. Скорость водного потока во время выхода из водораспыляющего сопла составляет, примерно, от 2 м/с до 2,5 м/с. Промывка обессоленной водой проходит при относительном содержании солей в водном растворе 30 мкСм/см. При этом данная концентрация является максимальной. После процесса промывки, из соответствующей зоны, изделие поступает в зону обдува. Обдув осуществляется при помощи контура обдува, подающего на изделие сжатый воздух со скоростью от 4 м/с до 8 м/с. Процесс обдувки осуществляется при температуре от 30 °С до 40 °С и необходим для устранения с поверхности изделия частиц воды, пыли и скопившихся, в случае сложности устранения в зоне промывки, грязевых наслоений. После процесса обдува изделие поступает в зону контроля.

Для автоматизации данного процесса необходимо разработать систему управления, основанную на применении современных подходов к управлению, а также последних достижений промышленности в области автоматизации. Применение программируемых логических контроллеров и систем диспетчерского управления позволит повысить эффективность процесса управления подготовкой изделий.

Системы диспетчерского управления, объединяющие в себе возможности контроля, регистрации и управления позволяют производить управление процессами в режиме реального времени, что особенно актуально при необходимости бережного использования ресурсов, таких как вода и воздух, применяемых при подготовке изделий.

Список литературы

1 Требования к качеству подготовки поверхностей [Электронный ресурс]. Режим доступа : https://helpiks.org/6-88180.html – 16.01.2026.

2 Радченко, Я. А. Анализ технологического процесса окрашивания изделий пневматическим распылением [Электронный ресурс] / Я. А. Радченко, Л. В. Галина // 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. 473-476.

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

Геллеверя М.В., Столыпина М.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В данной работе рассмотрим построение автоматизированной системы управления (АСУ) воздухоснабжения защитного сооружения (ЗС) гражданской обороны (ГО). Система воздухоснабжения ЗС ГО осуществляется через фильтровентиляционный комплект (ФВК-2).

АСУ воздухоснабжения ЗС ГО должна обеспечить условия поступления очищенного воздуха в помещение и формирование микроклимата. Позволит управлять процессом без участия человека. Автоматика должна исключить ошибочные действия, которые могут возникнуть при ручном управлении и повлечь причинение вреда здоровью укрываемых.

Для обеспечения автоматического управления воздухоснабжением защитного сооружения выявлены следующие основные задачи:

– автоматическое поддержание нужного режима воздухоснабжения;
– контроль работоспособности основного оборудования;
– осуществление контроля состава воздуха;
– контроль основных показателей микроклимата в ЗС;
– переход в ручной режим управления.

В качестве основных компонент АСУ выделим составляющие контура управления:

1. Датчики, собирающие информацию внутри помещения (температура, давление, влажность и т.д.), которая передается в систему в виде цифрового кода через преобразователь.
2. Контроллер, предназначенный для управления системой воздухоснабжения при помощи процессора и логической программы.
3. Исполнительные механизмы (вентиляторы, гермоклапаны).
4. Устройства ввода/вывода.
5. Система мониторинга, включающая дисплей и сигнализаторы.
6. Дополнительное оборудование для подключения исполнительных механизмов, датчиков.
7. Шкаф автоматики, который представляет собой корпус для установки автоматики, система управления и мониторинга.

Рассмотрим программируемый логический контролер (ПЛК) в системе управления. Он объединяет базовый блок и модули расширения, что дает возможность сконфигурировать систему под конкретные задачи. На рисунке 1 представлена схема работы ПЛК на примере ОВЕН ПЛК63.

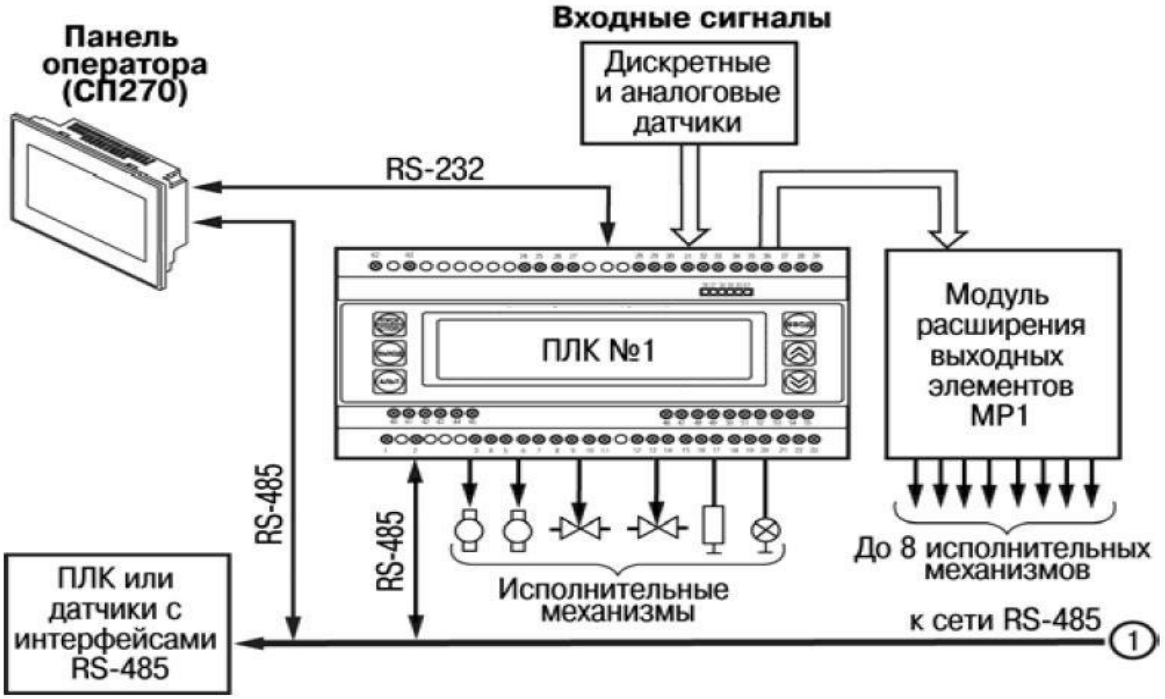


Рисунок 1 – Схема работы ОВЕН ПЛК63

Данный ПЛК предназначен для создания автоматизированных систем управления технологическим оборудованием и используется во многих сферах. Подходит для АСУ воздухоснабжения ЗС ГО.

Выделим основные возможности ОВЕН ПЛК63:

1. Среда программирования CoDeSys.
2. Встроенный интерфейс RS-485, RS-232.
3. Поддержка протоколов Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay.
4. Подключение дополнительных модулей ввода/вывода.
5. Увеличение дискретных выходов с возможностью подключения модуля ОВЕН МР1.

Система воздухоснабжения ФВК-2 в целом имеет 3 режима работы:

– режим I – режим чистой вентиляции;
– режим II – режим фильтровентиляции;
– режим III – режим полной и изоляции частичной.

В работе системы воздухоснабжения задействованы два вентилятора, 13 гермоклапонов. Большинство систем по типу ФВК-2 было разработано в XX веке, рассчитанные на ручное управление. В процессе реализации АСУ воздухоснабжения ЗС ГО в системе будут заменены некоторые узы и агрегаты. Гермоклапана с ручным приводом Ду–100, Ду-200Р, Ду-200П на аналогичные с электроприводом – АСТА Р123-СМ-2 Ду100 Ру16. Установлены датчики закрытия дверей с выводом данных. Тягонапоромер ТНЖ-Н так же будет дублироваться электронным с выводом данных. Соответственно в системе будет находиться 15 исполнительных механизмов, два датчика герметичности поме-

щения, один датчик давления и три независимых датчика, измеряющие температуру, влажность и состав воздуха.

Для более четкого представления процесса АСУ воздухоснабжения ЗС ГО на ФВК-2 на рисунке 2 представлена схема работы ПЛК.

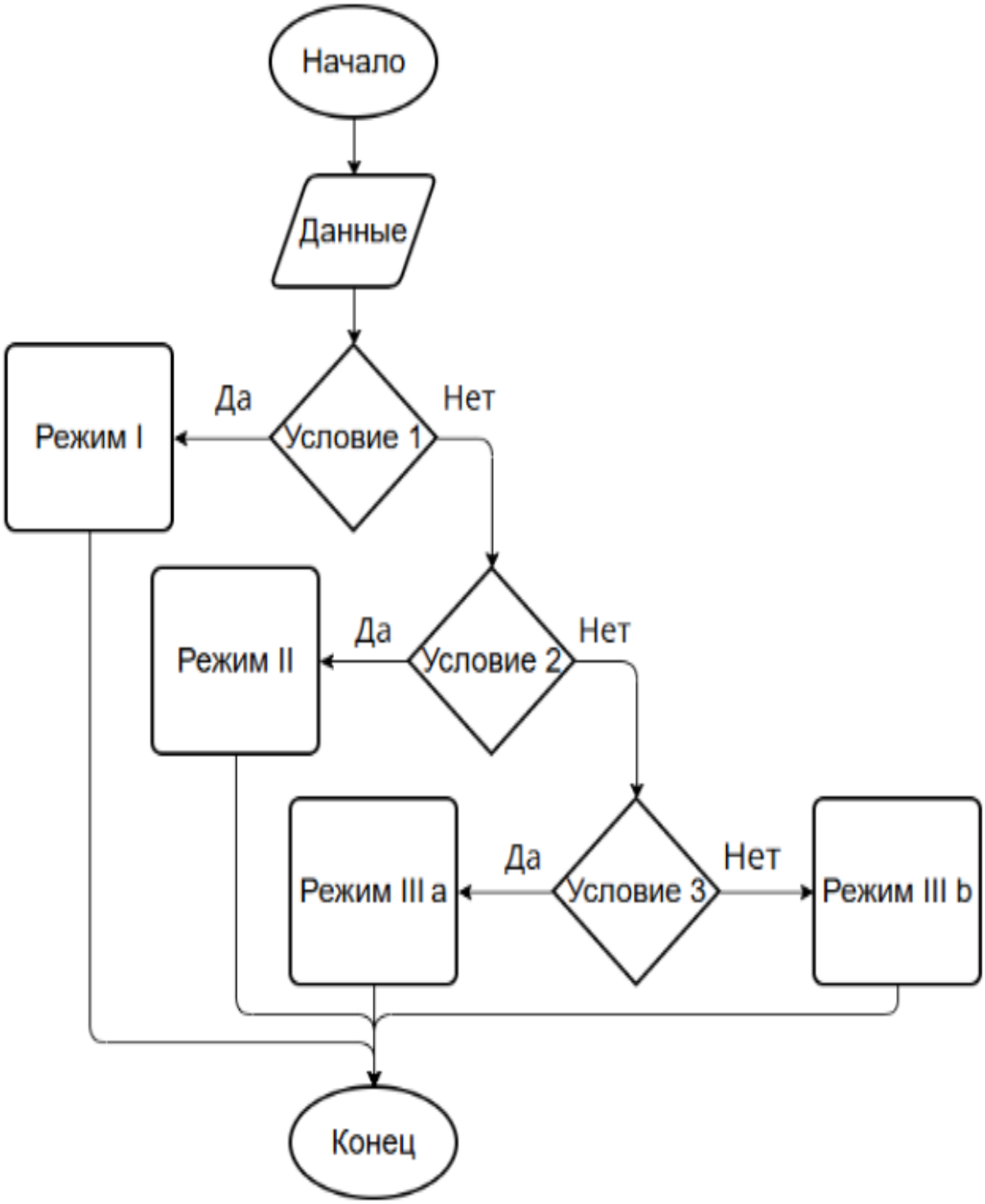


Рисунок 2 – Схема работы ПЛК

Построение алгоритма является одним из этапов создания АСУ и описывает пошаговую работу системы воздухоснабжения. Выбор режима работы на прямую зависит от данных, поступивших с наружных и внутренних датчиков.

Разработка программного обеспечения (ПО) стандарта IEC 61131-3 в среде CoDeSys – это процесс, требующий соблюдение определенных правил и ряда требований.

Сформулируем эти правила.

1. ПО АСУ должно выполнять все функции, закладываемые на этапе проектирования.

2. ПО АСУ должно быть преимущественно построено на базе существующих пакетов прикладных программ и других программ, заимствованных из государственных, отраслевых и других фондов алгоритмов и программ.

3. ПО должно быть построено таким образом, чтобы отсутствие отдельных данных не влияло на выполнении функций АСУ, при реализации которых эти данные не используются.

4. ПО должно иметь средства диагностики технических средств АСУ и контроля входной информации.

5. Общее ПО АСУ должно позволять осуществлять настройку компонентов специального программного обеспечения и дальнейшее развитие программного обеспечения.

6. Должна быть обеспечена защита уже сгенерированной и загруженной части программного обеспечения от случайных изменений.

7. Все программы специального программного обеспечения конкретной АСУ должны быть совместимы как между собой, так и с ее общим программным обеспечением.

ПО АСУ должно обладать следующими свойствами:

– функциональностью;
– надежностью;
– адаптируемостью;
– модифицируемостью;
– модульностью построения и удобством эксплуатации.

Разработка (АСУ) воздухоснабжения ЗС ГО является сложным и ответственным процессом. Требует строгого соблюдения современных стандартов и правил проектирования.

Список литературы

1 Бочарова, Т.А. Основы алгоритмизации: учеб. пособие / Т.А. Бочарова, Н.О. Бегункова. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. – 64 с. – ISBN 978-5-7389-0966-5.

2 Контроллер для автоматизации локальных систем ОВЕН ПЛК63-РРРРУУ-М [Электронный ресурс]: сайт компании: ООО «Градиентех». – Режим доступа: - https://gradientech.ru/shop/product/kontroller-dlya-avtomatizacii-lokalnyh-sistem-oven-plk63-rrrruu-m.

3 Защитные сооружения гражданской обороны (устройство и эксплуатация): учебно-методическое пособие / Под ред. Г-Н. Кириллова. – М.: Институт риска и безопасности, 2004. – 320 с.

4 Ластовкин, В.Ф. Защитные сооружения гражданской обороны: учеб.-метод. пос. / В.Ф. Ластовкин, А.П. Козлов, В.А. Забелин; Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2020. – 79 с. – ISBN 978-5-528-00407-5.

5 ГОСТ 24.104-2023 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования . – Москва: Российский институт стандартизации.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ КОМПРЕССОРОВ

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

Эффективность функционирования промышленных предприятий нефтегазового и химического секторов находится в прямой зависимости от надежности динамического оборудования, среди которого центральное место занимают компрессорные установки. Традиционные стратегии эксплуатации, базирующиеся на планово-предупредительных ремонтах, постепенно утрачивают свою актуальность ввиду высокой ресурсоемкости и невозможности исключить внезапные отказы в межремонтный период. В связи с этим наблюдается активный переход к концепции обслуживания по фактическому состоянию, реализация которой невозможна без внедрения автоматизированных систем диагностирования. Данный подход позволяет не только фиксировать текущие параметры работы агрегата, но и выявлять зарождающиеся дефекты на ранних стадиях развития, что существенно снижает риск аварийных остановов [1-4].

На основании проведенного анализа технической документации используемого компрессорного оборудования и практического опыта его эксплуатации выявлены основные неисправности. В таблице 1 для указанных видов неисправностей приведены методы инструментального контроля и диагностические признаки.

Таблица 1 – Диагностические признаки основных неисправностей компрессорного оборудования

Вид неисправности	Метод инструментального контроля	Характерные диагностические признаки
1	2	3
Дисбаланс ротора	Вибродиагностика (спектральный анализ)	Значительное увеличение амплитуды вибрации на оборотной частоте вращения ротора (1x). Стабильная фаза колебаний.
Расцентровка валов	Вибродиагностика	Появление и рост амплитуд второй (2x) и третьей (3x) гармоник оборотной частоты. Высокий уровень осевой вибрации.
Дефекты подшипников качения	Вибродиагностика (метод огибающей), термометрия	Появление пиков на частотах перекатывания тел качения (BPFO, BPFI). Локальное повышение температуры подшипникового узла.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Неисправность клапанной группы (для поршневых машин)	Анализ P-V диаграмм, акустический контроль	Искажение формы индикаторной диаграммы (давление-объем). Появление аномальных высокочастотных шумов и ударов.
Деградация смазочного масла	Трибодиагностика (физико-химический анализ)	Изменение вязкости, наличие воды или механических примесей, изменение кислотного числа.
Механическое ослабление опор	Вибродиагностика	Доминирование гармоник оборотной частоты, нестабильность фазы, высокий уровень вибрации в определенном направлении.

Архитектура современной автоматизированной системы диагностики представляет собой многоуровневую иерархическую структуру, обеспечивающую сквозную передачу данных.

На рисунке 1 представлен пример возможного варианта структурной схемы системы.

Нижний уровень – это уровень сбора данных (Data Acquisition) о физических процессах, протекающих в узлах компрессора, который включает в себя комплекс первичных преобразователей. Средний уровень – уровень обработки и передачи данных. На этом уровне аналоговые сигналы с датчиков преобразуются в цифровой формат, проходят первичную обработку (фильтрацию, усиление) в локальных контроллерах или модулях сбора данных и передаются на верхний уровень по промышленным протоколам (например, Modbus, Profibus, Ethernet/IP). Использование проводных и беспроводных технологий передачи данных в условиях промышленного объекта имеет свои специфические преимущества и недостатки, влияющие на надежность системы. Верхний уровень – это уровень анализа, визуализации и принятия решений. Он реализуется на базе серверного программного обеспечения или облачной платформы, где происходит основная интеллектуальная обработка данных.

Важным фактором, несущим наибольшее количество диагностической информации о механическом состоянии роторного оборудования, является вибрация. Для ее регистрации применяются пьезоэлектрические акселерометры, устанавливаемые на корпусах подшипниковых опор в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Выбор мест установки датчиков регламентируется документацией, так как их некорректное размещение может привести к искажению получаемого сигнала и, как следствие, к ложным выводам о состоянии компрессора. Помимо вибрационных параметров, обязательной регистрации подлежат термодинамические величины, такие как давление и температура газа на входе и выходе каждой ступени сжатия, а также температура подшипников и масла.

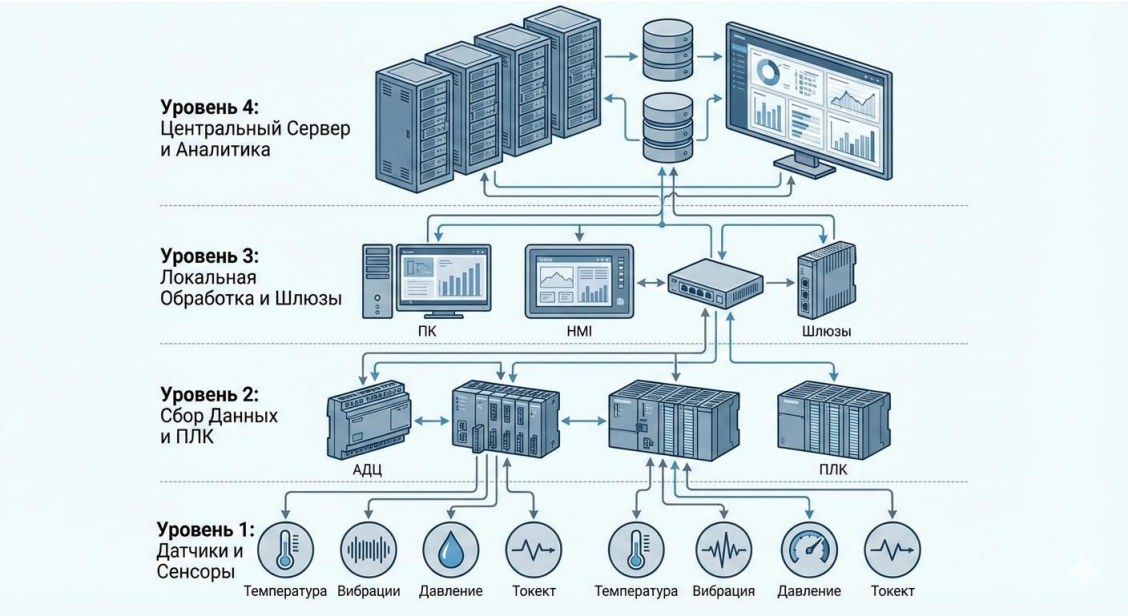


Рисунок 8 – Структурная схема автоматизированной системы диагностики, отображающая уровни от датчиков до сервера

Современные подходы к автоматизации не ограничиваются детерминированными алгоритмами и пороговыми значениями уставок. Все большее распространение получают методы машинного обучения и искусственного интеллекта. Нейронные сети, обученные на исторических данных о работе оборудования, способны выявлять скрытые закономерности и аномалии, которые не поддаются обнаружению классическими методами. Такой подход позволяет реализовать предиктивную аналитику, прогнозируя остаточный ресурс узлов и планируя ремонтные воздействия именно в тот момент, когда они действительно необходимы. Это исключает человеческий фактор при принятии решений и повышает достоверность диагноза.

Интеграция диагностических систем в единое информационное пространство предприятия открывает новые возможности для управления. Переход к стратегии обслуживания по фактическому техническому состоянию (Condition-Based Maintenance, CBM) и предиктивному (прогнозному) обслуживанию (Predictive Maintenance, PdM) становится насущной производственной необходимостью. Основой для реализации этих подходов является непрерывная, объективная и точная диагностика технического состояния оборудования, а ее автоматизация позволяет исключить человеческий фактор, повысить скорость принятия решений и обеспечить круглосуточный мониторинг критически важных параметров.

Таким образом, автоматизация диагностики перестает быть локальной инженерной задачей и становится инструментом повышения экономической эффективности всего производства. Внедрение современных диагностических комплексов приводит к снижению затрат на необоснованные ремонты, мини-

мизации времени простоев и предотвращению вторичных повреждений оборудования при авариях.

Список литературы

1 Опыт эксплуатации систем мониторинга технического состояния поршневых компрессоров в режиме реального времени / В.Н. Костюков, А.П. Науменко, И.А. Федоринов, В.Н. Золотарев // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 5. – 4 с.

2 Заитова, К.Р. Система вибромониторинга для предупреждения аварий и контроля технического состояния промышленных компрессоров / К.Р. Заитова // Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика: сборник статей по материалам I международной научно-практической конференции. – Часть 1. – Уфа: Издательство ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2019. – С. 92-97.

3 Хабибрахманов, Н.Л. Разработка и внедрение системы мониторинга компрессоров и выявления их отклонений / Н.Л. Хабибрахманов // Экономика будущего: тренды, вызовы и возможности: материалы III Всероссийской научно-практической студенческой конференции с международным участием. – Казань: Издательство ИП Сагиев А.Р., 2025. – С. 509-511.

4 Интеллектуальный мониторинг состояния оборудования компрессорных станций для предупреждения отказов и аварий / Д.Д. Кравченко, Е.Л. Чижевская, А.В. Медведев, Ю.Д. Земенков // Тюменский научный журнал. –2025. – № 1 (5). – С. 18-24.

ПОВЫШЕНИЕ МЕТРИК СИАМСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Греков М.В., Боровский А.С., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

При проектировании систем на основе сиамских нейронных сетей может возникнуть потребность в повышении качества латентного пространства и результирующих метрик. Однако, сложно оценить, какие методы могут помочь в достижении результата и на какие части системы они окажут влияние.

В рамках данной статьи будут рассмотрены различные методы повышения качества сиамских нейронных сетей (СНС), а также явно указаны причины повышения метрик. В статье не будут рассмотрены методы повышения читаемости латентного пространства, так как такие методы не оказывают влияние на результат.

Также будут рассмотрены как классические методы улучшения метрик, так и методы, адаптированные именно под сиамские нейронные сети.

Метод k ближайших соседей в контексте сиамских нейронных сетей – это логическое продолжение идеи метрического обучения. Фактически, когда происходит обучение СНС, мы обучаем не классификатор, а пространство, в котором близость объектов отражает их семантическое сходство. Метод k ближайших соседей напрямую использует это свойство и потому часто показывает более высокие и более стабильные метрики, чем обучаемые поверх эмбеддингов классификаторы [1].

После обучения СНС каждый объект представляется эмбеддингом в латентном пространстве. Метод k ближайших соседей работает с этим пространством напрямую: для нового объекта вычисляется его эмбеддинг, затем находятся k наиболее близких эмбеддингов из обучающей выборки, и решение принимается на основе их меток или расстояний. При этом не обучается никаких дополнительных параметров, вся информация уже заложена в геометрии пространства.

Ключевая причина, по которой k ближайших соседей часто улучшает метрики, заключается в его локальной природе. В отличие от линейного или даже нелинейного классификатора, который пытается провести глобальные границы между классами, алгоритм опирается на локальные окрестности. Если сиамская сеть хорошо сжала внутриклассовые расстояния и раздвинула межклассовые, то в локальной окрестности точки почти всегда оказываются семантически правильные соседи.

Существенную роль играет и выбранная метрика расстояния. В сиамских сетях чаще всего используются нормализованные эмбеддинги, и тогда евклидово расстояние и косинусная близость становятся эквивалентными с точки зрения ранжирования соседей. Это делает поведение метода предсказуемым и устойчивым: порядок соседей определяется направлением эмбеддингов, а не их

масштабом. Без нормализации алгоритм начинает реагировать на длины векторов, что, обычно, ухудшает метрики.

Однако у метода есть и ограничения. Его вычислительная сложность растёт линейно с размером базы эмбеддингов, что может стать узким местом при большом количестве объектов. На практике это решается либо аппроксимированными методами поиска ближайших соседей, либо предварительным сжатием эмбеддингов.

Нормализация эмбеддингов – это один из важнейших, но часто недооценённых методов улучшения метрик нейронных сетей, так как этот метод напрямую определяет геометрию латентного пространства и поведение всех метрик расстояния, которые используются для сравнения объектов [2].

В контексте СНС под эмбеддингом понимается вектор признаков, выходящий из энкодера. Без нормализации такой вектор одновременно несёт в себе направление и длину. Проблема в том, что длина эмбеддинга почти никогда не имеет устойчивой интерпретации и может зависеть от яркости изображения, длины текста, уверенности модели или случайных эффектов при обучении. В результате расстояния между эмбеддингами начинают отражать случайные вариации масштаба.

Когда применяется нормализация, каждый эмбеддинг приводится к единичной длине. Геометрически это означает, что все точки латентного пространства проецируются на поверхность гиперсферы. После этого модель оперирует исключительно угловыми различиями между векторами, то есть тем, насколько совпадают направления признаков, а не их абсолютные значения. Именно направление, как правило, и кодирует семантическое сходство объектов.

Это фундаментально меняет поведение метрик. Евклидово расстояние между нормализованными векторами становится монотонно связано с косинусным расстоянием. На практике это приводит к тому, что сравнение эмбеддингов становится более стабильным, а пороги принятия решений перестают изменяться между пакетами, эпохами и разными подвыборками данных. Для задач верификации это особенно критично, потому что один и тот же порог должен одинаково хорошо работать и на обучении, и на валидации, и в реальной системе.

С точки зрения оптимизации нормализация существенно улучшает поведение функции потерь. В контрастивной и триплетной функциях потерь без нормализации модель может искусственно повышать метрики, увеличивая длины эмбеддингов вместо того, чтобы реально разводить классы по направлениям. Это приводит к искусственно малым лоссам при плохой разделимости. Нормализация не допускает такого, так как модель вынуждена улучшать именно относительное расположение точек, а не масштаб векторов. В результате латентное пространство становится более компактным внутри классов и более разделённым между ними.

С практической точки зрения нормализация почти всегда даёт выигрыш и практически не имеет побочных эффектов. Она не увеличивает вычислитель-

ную сложность, не требует дополнительной разметки и легко встраивается в модель как финальный слой.

После обучения сиамской сети мы получаем распределения расстояний для двух типов пар: положительных и отрицательных. Эти распределения почти никогда не являются симметричными, стационарными или идеально разделёнными. Более того, их форма сильно зависит от данных, энкодера, нормализации и от конкретной эпохи обучения. Фиксированный порог, выбранный случайно или перенесённый из другой задачи, почти всегда оказывается недостаточно оптимальным и приводит либо к росту ложноположительных и ложноотрицательных результатов.

В этом случае можно применить адаптивный порог расстояния, при котором порог подбирается на основе эмпирического распределения расстояний. Геометрически это соответствует выбору конкретной гиперплоскости на оси расстояний, которая оптимально разделяет положительные и отрицательные пары с точки зрения заданной метрики качества. В отличие от обучения сети, при использовании этого метода не меняются эмбеддинги, а корректируется интерпретация уже сформированного латентного пространства.

Основная цель внедрения адаптивного порога заключается в управлении компромиссом между различными типами ошибок. При уменьшении порога модель становится более строгой, при этом уменьшается число ложных совпадений, однако растёт число пропущенных совпадений. Адаптивная настройка позволяет выбрать точку, в которой достигается оптимальное соотношение между ложноположительными и ложноотрицательными результатами для конкретной задачи [3].

Также, можно добиться ещё большего влияния метода при использовании нормализованных эмбеддингов. Когда расстояния находятся в стабильном и ограниченном диапазоне, распределения положительных и отрицательных пар становятся более компактными и воспроизводимыми. Это делает найденный порог переносимым между пакетами и эпохами, в противном случае порог начинает зависеть от масштаба эмбеддингов и теряет устойчивость.

Основным ограничением метода является качество исходного латентного пространства и значительно зависит от исходных расстояний. Это связано, в первую очередь, с возможным перекрытием положительных и отрицательных пар в пространстве. В случае большого перекрытия невозможно настроить порог без возникновения ошибок. Из этого следует, что адаптивный порог — это инструмент точной настройки, а не замена качественного обучения.

С практической точки зрения адаптивный порог часто даёт прирост метрик, сопоставимый с архитектурными улучшениями модели, при нулевых вычислительных затратах. Особенно заметен эффект в биометрии, задачах сопоставления, дедупликации и контроля доступа, где требования коэффициентам сходности задаются явно.

Рассмотренные методы повышения качества сиамских нейронных сетей ориентированы не на изменение архитектуры, а на улучшение свойств латентного пространства и интерпретации расстояний в нём. Значительная часть при-

роста метрик может быть достигнута за счёт корректного использования уже сформированных эмбеддингов, без услужения или переобучения СНС.

Метод k ближайших соседей при помощи других эмбеддингов более точно вычислять сходство между парами. Метод нормализации позволяет приводить эмбеддинги к единому размеру, что улучшает латентное пространство в целом и влияет на другие методы повышения качества модели. Метод адаптивного порога может помочь уменьшить число ошибок сравнения и более точно настроить переход от положительного к отрицательному сравнению.

В совокупности рассмотренные методы демонстрируют улучшение метрик сиамских нейронных сетей во многих случаях достигается не за счёт усложнения архитектуры, а за счёт осмысленного управления геометрией латентного пространства и интерпретацией расстояний. При этом можно комбинировать методы для достижения лучшего результата в различных задачах, при этом не переобучая модель.

Список литературы

1 Игнатова, В. А. Методическое пособие по преподаванию алгоритмов машинного обучения: kNN и k-Means / В. А. Игнатова, М. А. Терентьева, Д. Н. Федянин // Modern European Researches. – 2025. – Т. 1, № 2. – С. 104-110.

2 Частикова, В. А. Нейросетевая методика идентификации лиц в видеопотоке в условиях ограниченности данных / В. А. Частикова, Е. Д. Васильев, Д. В. Бабич // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 3(246). – С. 85-90.

3 Мхаммад, С. Разработка и исследование алгоритма для раздельной записи речи нескольких спикеров / С. Мхаммад, С. А. Молодяков // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – Т. 13, № 5. – С. 41-48.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ CART-РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ И ДИАПАЗОНОВ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА PHP

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

В настоящее время уровень технологического развития и активное внедрение методов машинного обучения в различных отраслях требуют разработки эффективных инструментов для оценки и анализа параметров оборудования. Использование систем, основанных на CART-регрессии и реализованных на PHP, позволяет существенно повысить точность и автоматизировать процессы оценки стоимости и диапазонов параметров техники.

Следует отметить, что системы прогнозирования параметров оборудования в инженерной практике требуют прозрачности, воспроизводимости и технологической независимости от сложных ML-стеков. В связи с этим в данной работе используется регрессионный вариант CART (Classification And Regression Trees), реализованный непосредственно в PHP.

Что касается решаемых задач, то они имеют прикладную ориентацию:

– оценка стоимости оборудования по инженерным признакам (COST);

– оценка допустимых диапазонов отклонений параметров (DELTAS), выраженных в процентах.

Переходя к описанию системы, рассмотрим её архитектуру. Система состоит из трех уровней: слой обучения, слой моделей, слой инференса.

Если конкретизировать, слой обучения представлен набором специализированных классов Orders, каждый из которых обучает отдельную задачу/объект. Слой моделей хранит результаты обучения в JSON. В свою очередь, слой инференса (EquipmentPredictor) загружает JSON и выполняет вычисление COST и DELTAS.

Общая архитектура приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Общая архитектура системы

Данные извлекаются из таблиц, содержащих инженерные признаки оборудования. При этом для каждого объекта фиксируется train/test разбиение по диапазону ID. Важно подчеркнуть, что такое разделение обеспечивает воспроизводимость эксперимента и контроль качества на отложенной выборке.

Детализация слоев приведена на рисунке 2.

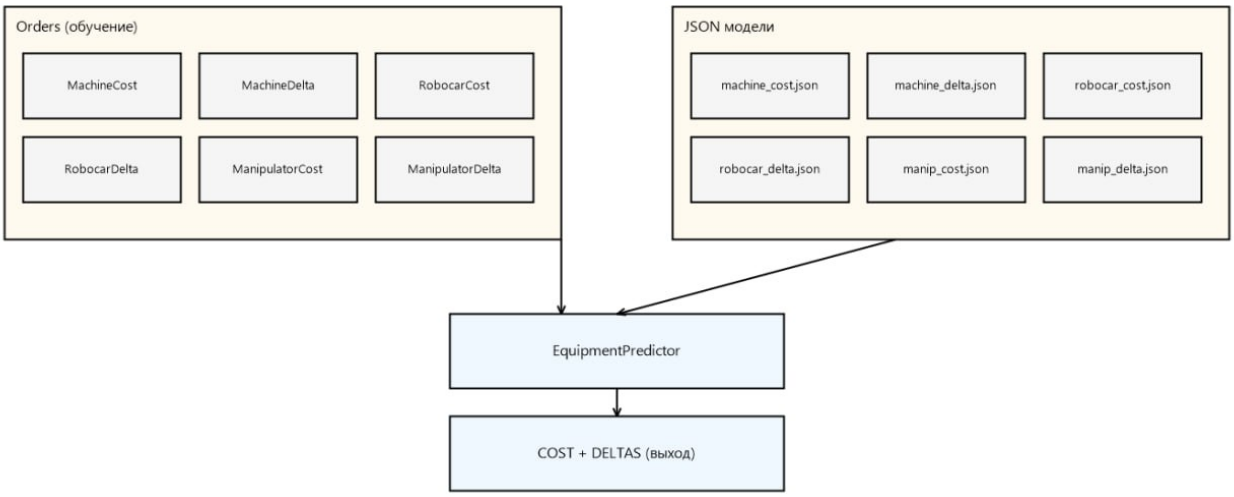


Рисунок 2 – Детализация полученных слоев

Далее, в основе метода, CART строит бинарное дерево решений и минимизирует среднеквадратичную ошибку. А именно, для каждого узла перебираются все признаки и пороги между уникальными значениями, выбирается разбиение с максимальным снижением ошибки.

Следует добавить, что для каждого типа оборудования обучается отдельная регрессионная модель.

Проиллюстрируем это фрагментом обучения (MachineCostLearningOrder::render):

```
$this->model->fit($Xtr, $ytr);
$this->saveModel();
$pred = $this->model->predictBatch($Xte);
$metrics = $this->metrics($yte, $pred);
```

Отдельного внимания заслуживает то, что для каждой целевой дельты обучается отдельное дерево, однако все деревья используют общий набор признаков, включающий COST.

Рассмотрим соответствующий фрагмент обучения (MachineDeltaLearningOrder::render):

```
$this->modelMin->fit($Xtr, $yMinTr);
$this->modelMax->fit($Xtr, $yMaxTr);
$this->saveModels();
```

Необходимо учесть, что модели MIN и MAX обучаются независимо. Вследствие этого возможна ситуация max < min, что физически некорректно.

Поэтому используется правило коррекции:

```
$min = $this->modelMin->predict($x);
$max = $this->modelMax->predict($x);
if ($max < $min) $max = $min + 1.0;
```

Важным аспектом является то, что для прогнозирования DELTAS используется расширенный вектор признаков, включающий стоимость. При этом стоимость может быть задана вручную или вычислена моделью COST.

Что касается процесса прогнозирования, инференс реализован в EquipmentPredictor.

Его последовательность такова:

1. формирование признаков для COST;
2. прогноз COST;
3. формирование расширенного вектора с COST;
4. прогноз MIN/MAX;
5. согласование MIN/MAX.

Проиллюстрируем эту последовательность фрагментом инференса (EquipmentPredictor::predictMachine):

```
$predCost = (int)round($costModel->predict($xCost));
$usedCost = $costForDelta !== null ? (float)$costForDelta : (float)$predCost;
$xDelta = [ ... , (float)$usedCost ];
$min = $this->predictDeltaInt($deltaTrees, 'min', $xDelta);
$max = $this->predictDeltaInt($deltaTrees, 'max', $xDelta);
if ($max < $min) { $max = $min + 1; }
```

Для оценки эффективности оценка качества выполняется по стандартным метрикам.

Рассмотрим вопросы хранения моделей. Модели сохраняются в JSON. При этом COST-модель хранит одно дерево, DELTAS – набор деревьев.

В качестве примера приведем упрощенную структуру DELTAS:

```
{
"version": 1,
"featureNames": ["VENDOR_ID", "TYPE", "EXCHANGE_TIME", "STORAGE_COUNT", "COST"],
"min": { ...tree... },
"max": { ...tree... }
}
```

Взаимосвязь таблиц и моделей приведена на рисунке 3.

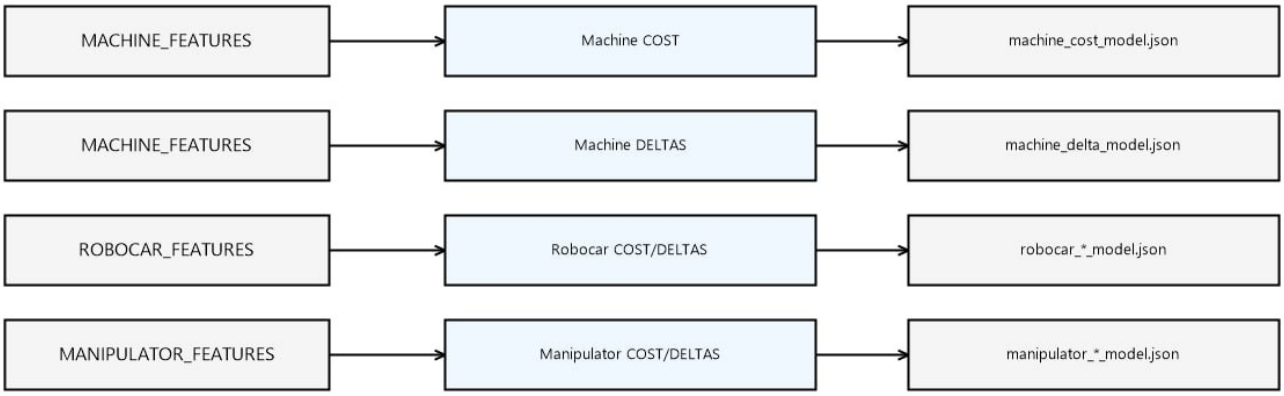


Рисунок 3 – Взаимосвязь таблиц и моделей

В заключение можно сказать, что предложенная система реализует полный цикл обучения и применения регрессионных моделей для инженерных задач. Таким образом, использование CART обеспечивает интерпретируемость и простую сериализацию. Кроме того, включение стоимости в признаки DELTAS повышает устойчивость и корректность диапазонов. Наконец, механизм согласования MIN/MAX гарантирует физическую осмысленность результата. В целом, архитектура расширяема и может быть дополнена новыми типами оборудования и признаками.

Список литературы

1 Томасова, Д. А. Анализ и оценка рисков внедрения инновационного оборудования / Д. А. Томасова // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2019. – № 3. – С. 52-59.

2 Орлов, Д. А. Архитектура связанных JavaScript-микрокомпонентов для крупных веб-проектов / Д. А. Орлов, Р. А. Карелова // Программная инженерия. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 74-81.

3 Ломовцева, Н. А. Применение алгоритма CART для решения задачи многоклассовой классификации / Н. А. Ломовцева, Ю. Е. Кувайскова // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2021) : XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвящённая памяти заведующего кафедрой "Вычислительная техника" Соснина Петра Ивановича: сборник научных трудов, Ульяновск, 22–23 ноября 2021 года / Под редакцией Н.Н. Войта. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2021. – С. 137-141.

4 Гуньков, С. А. Программное обеспечение имитационного моделирования производственного участка / С. А. Гуньков, А. И. Сергеев // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 12. – С. 31-34.

5 Гуньков, С. А. Автоматизация проектирования транспортной системы предприятия / С. А. Гуньков, А. И. Сергеев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01–03 февраля 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 1830-1833.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ГАЗОПОРШНЕВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С СЕТЬЮ

Гурылёв В.С., Русяев А.С., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современные газопоршневые электростанции (ГПЭС) занимают важное место в обеспечении надежного энергоснабжения промышленных предприятий и объектов инфраструктуры. Развитие распределенной генерации на базе газопоршневых установок демонстрирует устойчивую положительную динамику, что обусловлено как доступностью топливных ресурсов, так и развитием соответствующих технологий. Особую актуальность приобретает работа объектов малой генерации в параллельном режиме с сетью Единой энергетической системы (ЕЭС) России [1].

Параллельный режим обеспечивает стабильную работу предприятия, защищает оборудование от поломок, вызванных скачками напряжения. Работа с сетью общего пользования требует решения комплекса технических вопросов, связанных с организацией эффективного управления генерируемой мощностью. В частности, если генерирующее оборудование не является участником оптового рынка электрической энергии и мощности России, переток электроэнергии в сторону ЕЭС России недопустим. Таким образом, необходимо обеспечить перетоки активной мощности в контролируемых сечениях и в пределах допустимых значений [2]. В традиционных схемах объекты малой генерации работают на локальных потребителей. Предложено осуществлять компенсацию нагрузок удаленного энергообъекта (ПС 110/35/6 кВ) за счет переноса точек замера перетока активной мощности, что позволит достичь дополнительного экономического эффекта.

Для реализации поставленной цели необходимо решение ряда технических задач:

- разработка структурной схемы системы сбора и передачи информации;
- обеспечение точности измерений и достоверности данных;
- выбор и конфигурация промышленных протоколов передачи данных;
- обеспечение надежности канала связи;
- интеграция системы телемеханики в систему управления ГПЭС.

Проектирование структурной схемы системы сбора и передачи информации предполагает создание многоуровневой архитектуры, обеспечивающей сбор телеметрических данных, их передачу по резервированным каналам связи, преобразование протоколов и интеграцию в систему автоматического регулирования нагрузкой ГПЭС. На рисунке 1 представлена структурная схема систе-

мы сбора и передачи данных перетока активной мощности на удаленной подстанции.

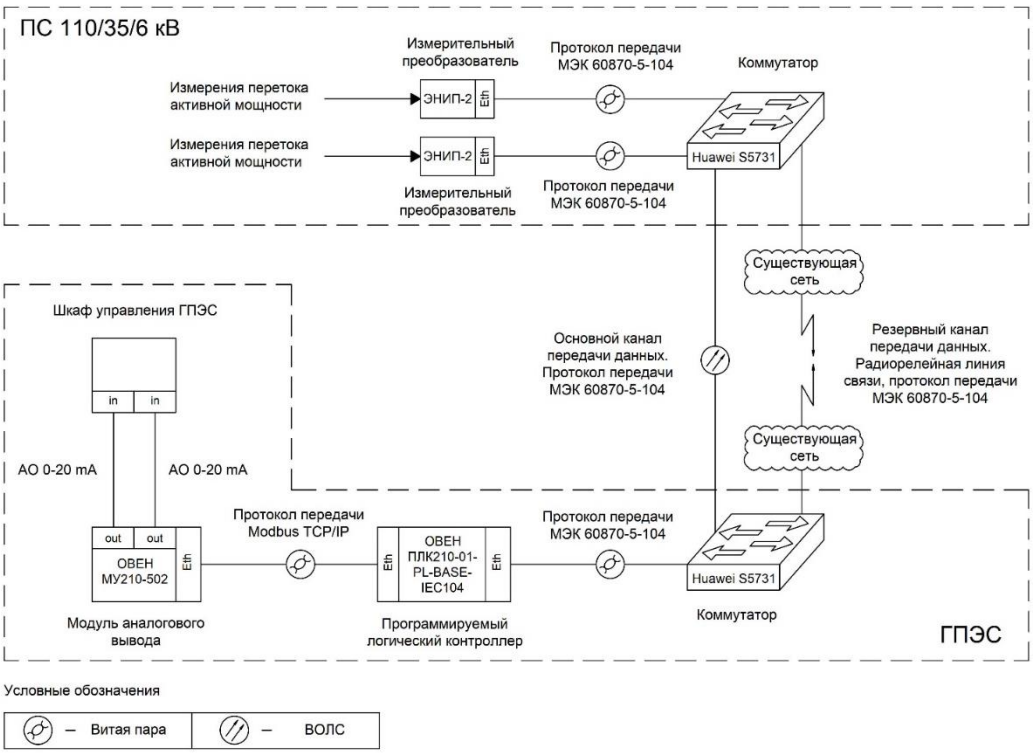


Рисунок 1 – Структурная схема системы сбора и передачи данных перетока активной мощности удаленной подстанции

Фундаментальной задачей построения контура регулирования является обеспечение точности измерений и достоверности данных, под которой понимается неизменность содержания информации при ее передаче между источником и получателем [3]. На этапе проектирования необходимо осуществить подбор измерительных преобразователей, удовлетворяющих метрологическим и техническим требованиям. Для этих целей выбран многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2.

В качестве основного промышленного протокола для передачи данных от подстанции к ГПЭС выбран стандарт МЭК 60870-5-104. Его выбор обусловлен статусом отраслевого стандарта для систем телемеханики в электроэнергетике, а также обширным функционалом. Настоящий стандарт определяет использование открытого интерфейса TCP/IP для сети, содержащей, например LAN (локальная вычислительная сеть) для устройства телемеханики, которая передает ASDU (блок данных прикладного уровня) в соответствии с ГОСТ Р МЭК 870-5-101 [4]. Протокол обеспечивает передачу данных в реальном времени, имеет четко определенные типы информационных объектов для передачи значений измерений, поддерживает механизмы контроля целостности и времени, функции подтверждения и повторной передачи.

Надёжность канала связи является критически важным условием стабильной работы системы. Одним из ключевых методов отказоустойчивости при

построении сети считается резервирование каналов связи [5]. Для реализации схемы с резервированием, требуется наличие двух независимых физических каналов. Основным физическим каналом будет являться волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС), резервным – радиорелейная связь (РРЛС). Автоматическое переключение между этими каналами в случае сбоя выполняется с помощью коммутаторов, поддерживающих протокол резервирования Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP). В условиях сложившейся ситуации на российском рынке оптимальным вариантом является коммутатор Huawei S5731, функционал которого полностью соответствует поставленным задачам.

Регулирование активной мощности газопоршневой электростанции осуществляется по заданию, формируемому на основе значений перетока активной мощности на подстанции 110/35/6 кВ. Следовательно, требуется преобразование цифровых данных стандарта МЭК 60870-5-104, в масштабированный аналоговый сигнал. Техническим решением данной задачи служит применение программно-аппаратного шлюза на базе программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК-210 PL, оснащенного библиотекой поддержки МЭК 60870-5-104, совместно с модулем аналогового вывода ОВЕН МУ-210. В рамках этого решения на ПЛК конфигурируются два ведущих (master) устройства: один для опроса территориально удаленных измерительных преобразователей ЭНИП-2, другой – для взаимодействия с модулем аналогово вывода по промышленному протоколу Modbus TCP. Настройка и конфигурирование ПЛК-210 PL осуществляется в графической среде разработки «Полигон» [6].

Проведенное исследование направлено на решение актуальной задачи оптимизации управления газопоршневой электростанцией в параллельном режиме работы с сетью ЕЭС России. Предложенное решение позволяет создать автоматический контур регулирования активной мощности ГПЭС по сигналу, пропорциональному перетоку мощности на удаленной подстанции. Таким образом, реализация описанной системы оптимизирует управление мощностью ГПЭС, позволяя достичь дополнительного экономического эффекта от компенсации нагрузок смежного объекта, при этом соблюдая требования нормативной документации Единой энергетической системы и повышая общую стабильность энергоснабжения предприятия. Разработанный подход носит практический характер и может быть применен для аналогичных объектов малой генерации.

Список литературы

1 Марченко, А. И. Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью / А. И. Марченко, В. В. Денисов, И. С. Мурашкина // Научный вестник НГТУ. – 2019. – С. 77–90.

2 Долгошеев, В. В. Внедрение автономных газопоршневых генераторных установок модульного типа в качестве дополнительного источника электроснабжения промышленного предприятия / В. В. Долгошеев, Е. В. Соломин, П. А. Юнусов, М. А. Майоров // Электротехнические системы и комплексы / Юж-

но-Уральский государственный университет (НИУ). – Челябинск, 2020 – С. 17–25.

3 ГОСТ IEC 60870-4–2011. Устройства и системы телемеханики. Часть 4 технические требования: межгосударственный стандарт: принят 29.11.2011 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2014.

4 ГОСТ Р МЭК 60870-5-104–2004. Устройства и системы телемеханики. Часть 5 протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей: введен 09.03.2004 №89–ст / Госстандарт России. – Изд. официальное. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004.

5 Кадочникова, Н. А. Обеспечение отказоустойчивости сети путем резервирования канала связи / Н. А. Кадочникова // Перспективы развития информационных технологий: материалы XXXVI Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2017. – С. 95-98.

6 Среда программирования Полигон. – URL: https://owe.ru/product/polygon (дата обращения: 23.01.2026).

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВОГО СБЫТА

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

Информационные технологии проникают во все сферы жизни, не остался в стороне и сегмент нефтепродуктового сбыта. Такая тенденция касается и внешнего интерфейса, направленного на потребителя, и внутренней инфраструктуры нефтебазы. Благодаря внедрению различных информационных технологий и клиент, и компания получают ощутимые преимущества – комфортное обслуживание, дополнительный сервис, маркетинговую информацию, высокую конкурентоспособность [2].

Технологии автоматизированных систем отгрузок нефтепродуктов включают использование автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) для управления процессами приёма, хранения, отгрузки и учёта нефтепродуктов. Например, в 2018 году «Газпром нефть» утвердила цифровую трансформацию в качестве одного из приоритетных направлений своей деятельности. Цель – создать «цифровую нефтяную компанию», управляемую на основе данных и цифровых двойников активов, то есть позволить оптимизировать операционную деятельность, минимизировать потери нефтепродуктов и при этом соответствовать нормативным требованиям (рисунок 1).

Рисунок 1 – Структурная схема современной нефтебазы

Функции автоматизированных систем нефтепродуктового сбыта включают:

1) управление процессами приёма и выдачи нефтепродуктов на железнодорожных и автомобильных эстакадах, а также через нефтепроводы;

2) реализация противоаварийных защит и блокировок (например, при загазованности, пожаре, переливе резервуара);

3) автоматическая сборка и контроль правильности маршрутов движения топлива, заданных оператором. Автоматическая перекачка заданного объёма нефтепродуктов;

4) автоматическое переключение резервуаров – основной и резервный – при выполнении сливо-наливных операций;

5) диагностика срабатывания исполнительных механизмов: контроль времени хода запорной арматуры, включения насосных агрегатов, контроль ошибок частотных приводов.

Для автоматизации процессов управления нефтепродуктовым сбытом используются различные автоматизированные системы:

1) CRM-системы для управления взаимоотношениями с клиентами. Например, внедрение CRM-системы на предприятии «Газпромнефть-Тюмень» позволило стандартизировать процессы продаж нефтепродуктов и взаимоотношений с клиентами [1]. Для управления нефтепродуктами в компаниях могут применяться разные CRM-системы, среди них 1С:CRM, Bitrix24, AmoCRM, BPMSoft. 1С: CRM позволяет управлять клиентскими процессами, продажами, маркетингом и другими функциями. Bitrix24 - комплексное программное решение, в котором есть модули для бизнеса по управлению нефтепродуктами, такие как управление складом, сервисом и каталогом запчастей. Платформой для управления контактами, продажами и маркетингом, которая используется в компаниях, работающих с нефтепродуктами, для отслеживания клиентских запросов, планирования продаж и анализа данных является AmoCRM. Также универсальной CRM/BPM-системой для нефтегазовой отрасли, которая обеспечивает автоматизацию и эффективное управление бизнес-процессами компании на всех этапах, от добычи до сбыта и обслуживания производственных мощностей называется BPMSoft;

2) цифровые двойники – виртуальные копии действующих производственных объектов и систем. Позволяют моделировать и оптимизировать работу активов и процессов в различных условиях и технологических режимах. В перспективе цифровые двойники обещают сделать добычу более предсказуемой и эффективной, особенно на сложных и удалённых месторождениях. Особенно актуально это для освоения шельфовых, арктических и трудноизвлекаемых запасов, где непредвиденные простои и аварии обходятся особенно дорого [3]. Также в 2025 году сообщалось, что в рамках Энергетической стратегии России до 2050 года может быть реализован масштабный проект «КиберТЭК» – создание «цифрового двойника» всей нефтегазовой отрасли страны;

3) системы сквозного мониторинга с единым информационным пространством, которые анализируют цепочки поставок нефтепродуктов (НПЗ – первичная логистика – нефтебаза – вторичная логистика – АЗС) [4]. Выявляют и прогнозируют инциденты, связанные с отклонениями параметров качества и количества нефтепродуктов, формируют реестр инцидентов;

4) роботизированные платформы используются в автоматизации процессов нефтесбыта (нефтегазовой отрасли) для автоматизации рутинных операций, снижения рисков для персонала и повышения эффективности операций. Роботы применяются в разных областях от проверки трубопроводов на наличие повреждений до наблюдения за морскими платформами. В России использование роботизированных платформ в нефтесбытовой отрасли регулируется, например, Распоряжением Правительства РФ от 19 августа 2020 г. №2129-р «Об утверждении Концепции развития регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники на период до 2024 года». В концепции определяются основные подходы к трансформации системы нормативного регулирования для развития технологий искусственного интеллекта и робототехники в различных сферах экономики, включая нефтегазовую отрасль [5]. В 2023 году «Газпром-нефть» внедрила отечественную платформу «Primo RPA» для автоматизации бизнес-процессов в компании, включая взаимодействие с ФНС и Росстат, подготовку и отправку отчётности, обработку входящей документации.

Автоматизация процессов способствует снижению операционных затрат за счёт уменьшения человеческого вмешательства и минимизации ошибок. Интеллектуальные системы управления и мониторинга позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние оборудования, уровень запасов и логистику поставок, что значительно сокращает время на принятие решений и повышает точность управления. Инновационные технологии обеспечивают высокий уровень безопасности. Автоматизированные системы контроля качества и мониторинга окружающей среды позволяют своевременно выявлять и предотвращать утечки и аварийные ситуации, минимизируя экологический ущерб и риски для здоровья людей.

Цифровизация процессов способствует улучшению взаимодействия с клиентами. Мобильные приложения и онлайн-платформы позволяют потребителям отслеживать статус своих заказов, выбирать оптимальные точки заправки и получать персонализированные предложения. Это повышает лояльность клиентов и способствует укреплению позиций компании на рынке.

Таким образом, инновационные технологии в автоматизации нефтепродуктового сбыта являются неотъемлемой частью стратегии развития современной нефтяной отрасли. Их внедрение способствует не только повышению эффективности и безопасности производственных процессов, но и улучшению качества обслуживания клиентов, что в конечном итоге приводит к устойчивому развитию и конкурентоспособности компаний на мировом рынке.

Список литературы

1 Баскаев, А. А. Автоматизация процессов нефтепродуктового рынка: Монография / А. А. Баскаев, В. В. Кучеров. – М.: Недра, 2018. – 256 с.

2 Гумеров, А. М. Инновационные технологии в нефтяной отрасли: Монография / А. М. Гумеров, Р. Н. Бахтизин. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2019. – 320 с.

3 Касьянов, С. В. Автоматизация и цифровизация в нефтегазовом комплексе: Учебное пособие / С. В. Касьянов, А. В. Мельников. – М.: Инфра-М, 2020. – 160 с.

4 Мазур, И. И. Управление инновациями в нефтегазовом комплексе: Монография / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – М.: Омега-Л, 2017. – 448 с.

5 Петров, Н. Н. Современные технологии автоматизации в нефтяной промышленности / Н. Н. Петров // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 11. – С. 106-110.

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Евтеев Е.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Автоматизация технологических процессов является ключевым фактором модернизации химической промышленности, обеспечивая высокую степень стабильности, безопасности и эффективности производства сложных химических продуктов. В частности, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) проектируются таким образом, чтобы обеспечить контроль, регулирование и оптимизацию параметров реагирования, температуры, давления, расхода сырья и других критичных переменных без постоянного участия оператора, что снижает вероятность ошибок и повышает надёжность функции управления [1].

В научной литературе отмечается, что сернокислотные производства, несмотря на свою техническую зрелость, предъявляют повышенные требования к системам автоматизации, поскольку технологические процессы в них отличаются высокой динамичностью и сложностью взаимосвязей между отдельными операциями: обжиг сырья, каталитическое окисление сернистого газа, абсорбция триоксида серы и др. Именно поэтому создание адекватных моделей автоматизированного управления требует глубокого понимания динамики технологических блоков и возможности интеграции различных средств измерения и регулирования [1].

Современные исследования показывают, что сернокислотные установки могут быть реализованы как объекты с комплексным автоматическим управлением, включающим не только регуляторы отдельных параметров, но и централизованные системы мониторинга и управления узлами процесса. По мере развития технологических возможностей возрастают требования к обработке данных в реальном времени, что позволяет эффективно управлять процессами, снижать простои и исключать аварийные ситуации [2].

Одним из примеров практической реализации автоматизации в химических производствах служит методика, описывающая автоматическое регулирование технологических параметров на основе измерительных данных, которые обрабатываются в микроконтроллерах и передаются в центральную систему управления. Такой подход позволяет непрерывно корректировать управление, поддерживая оптимальные режимы работы оборудования при изменении условий технологических потоков [3].

Особенностью автоматизации производства серной кислоты является необходимость учёта агрессивности технологической среды и высокой корреляции между параметрами процесса, что требует применения специальных датчиков, устойчивых к коррозии, и отказоустойчивых цифровых систем. В отли-

чие от типовых автоматизированных линий, сернокислотные установки должны учитывать экстремальные значения температур, многоконтурность реакций и отсутствие «простых» зависимостей, что усложняет построение универсальных алгоритмов управления и диктует необходимость разработки специализированных АСУ ТП [1].

Дальнейшим аспектом экспертных аналитических публикаций является акцент на разработке современных схем автоматизации, в которых автоматическое управление охватывает не только отдельные узлы, но и весь технологический процесс в целом. Это включает автоматизированные системы контроля обеспечения параметров безопасности, автоматическое регулирование подачи сырья, управление тепловыми потоками и обеспечение корректной работы катализаторов, находящихся в высокотемпературных средах. Такие системы способны оперативно адаптироваться к изменениям технологических входов, обеспечивая максимально эффективные условия работы [2].

Российские технические источники, в том числе систематизированные обзоры автоматизации сернокислотного производства, также подчёркивают, что существуют исторические разработки в области автоматизации контактного отделения производства, выполненные Институтом автоматики и телемеханики, которые являются прототипами современных решений автоматического контроля параметров технологического процесса. Данные подходы включали централизованный контроль параметров реагирования и исполнения автоматизированных регулировочных механизмов, что стало основой для дальнейшего развития автоматических систем управления в химической промышленности [4].

Анализ современных работ показывает, что в последние годы всё больше внимания уделяется не только контролю отдельных параметров, но и полному циклу автоматизации, включающему моделирование, оптимизацию и прогнозирование показателей технологического процесса. В условиях цифровой трансформации производства химических продуктов, автоматизация сернокислотных заводов развивается в направлении интеграции SCADA- и PLC-систем, обработки больших данных и интеллектуальных управляющих алгоритмов, что позволяет обеспечивать высокую степень самоадаптации и управления сложными процессами на основе анализа большого массива измерительных данных [2].

Исследования отечественных технических сообществ также отмечают, что автоматизация должна учитывать не только управление основными технологическими параметрами, но и экологические аспекты, связанные с утилизацией отходящих газов и предотвращением выбросов токсичных соединений в атмосферу. Такое расширенное понимание автоматизации включает в себя систему мониторинга окружающей среды, которая интегрирована в общую АСУ ТП предприятия и позволяет автоматически корректировать процессы таким образом, чтобы снизить влияние на экологию.

Несмотря на существующие достижения, проблема автоматизации сернокислотного производства остаётся актуальной, поскольку требуется дальней-

шая оптимизация систем управления, внедрение современных датчиков и средств связи, а также разработка специализированных программных средств, подходящих для специфики химических реакций с высокой температурой, коррозийными средами и многокомпонентными режимами управления. Эту задачу необходимо решать с учётом российских реалий и требований к промышленной безопасности, поскольку сернокислотные процессы являются одними из наиболее критичных с точки зрения стабильности технологических параметров и экологических рисков.

Список литературы

1 Перспективы автоматизации технологических процессов химических производств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-avtomatizatsii-tehnologicheskih-protsessov-himicheskih-proizvodstv.

2 Автоматизация серной кислоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://chem21.info/info/681367/.

3 Автоматизация процесса получения сернистого ангидрида при производстве серной кислоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ronl.org/referaty/proizvodstvo/328135/.

4 Автоматизация производства серной кислоты из сероводорода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://chem21.info/info/1664410/.

ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

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

Системы неразрушающего контроля (НК) получили широкое распространение для диагностики состояния различных объектов транспорта, промышленного производства и в других сферах. Повышение эффективности таких систем является актуальной научно-технической задачей. Так модернизацию систем НК для выявления дефектов сварных соединений магистральных и технологических трубопроводов нефтегазовой отрасли в работе [1] предлагается решать за счет использования современных цифровых подходов автоматизации метода рентгенографического контроля.

Однако ультразвуковой контроль (УЗК) остается одним из наиболее распространенных и информативных методов неразрушающего контроля в машиностроении благодаря высокой проникающей способности, точности локализации дефектов и относительно низкой стоимости оборудования [2]. УЗК также широко применяется для контроля состояния различных объектов в нефтегазовой отрасли. Например, УЗК применяют для внутритрубной ультразвуковой дефектоскопии состояния газотранспортных систем [3].

Однако классический УЗК обладает рядом существенных недостатков: высокая зависимость качества контроля от квалификации и внимательности оператора-дефектоскописта; трудоемкость обследования больших площадей; сложность однозначной интерпретации сигналов от сложных структур, таких как композиционные материалы или сварные швы с неоднородной микроструктурой [4].

Интеграция роботизированных ультразвуковых систем и искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой комплексное решение, призванное устранить указанные выше ограничения. Роботизированный манипулятор обеспечивает высокую повторяемость траекторий, стабильный контакт или постоянное расстояние при бесконтактном контроле, а также доступ в труднодоступные или опасные для человека зоны [5].

Искусственный интеллект, в частности методы машинного обучения и глубокого обучения (Deep Learning), может взять на себя решение задачи экспертной оценки сигналов роботизированного манипулятора, превращая сырые акустические данные в структурированный отчет о дефектах.

Целью данной статьи является описание архитектуры, принципов работы и методики внедрения интегрированной системы «Робот – УЗ-сканер – ИИ» для автоматического выявления дефектов сварных соединений трубопроводов.

Разрабатываемая система, в этом случае, будет представлять собой киберфизический комплекс, состоящий из трех основных взаимосвязанных модулей: роботизированный модуль позиционирования и сканирования; модуль сбора и первичной обработки ультразвуковых данных; модуль интеллектуального анализа данных (рисунок 1).

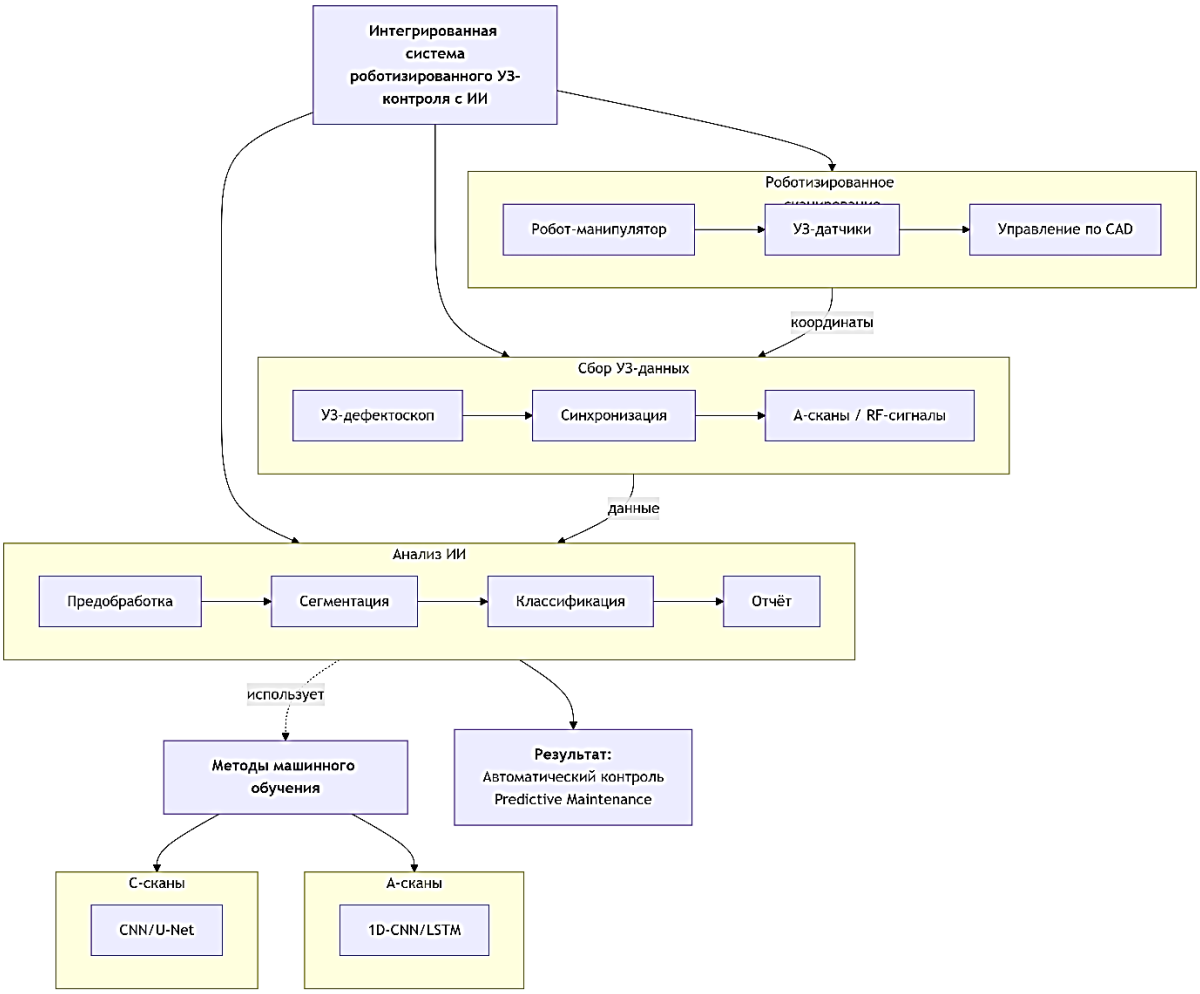


Рисунок 1 – Структурная схема интегрированной системы роботизированного ультразвукового контроля с искусственным интеллектом

Основу роботизированного модуля позиционирования и сканирования составляет промышленный робот-манипулятор с шестью и более степенями свободы, обеспечивающий требуемую гибкость движений. На конце его фланца устанавливается каретка или держатель с одним или несколькими УЗ-преобразователями (контактными, накладными или иммерсионными). Как показано в работе [6] ключевыми требованиями к такому роботу являются высокая точность позиционирования (порядка ±0,1 мм) и повторяемости, а также наличие системы силомоментного очувствления для обеспечения оптимального прижима датчика к поверхности изделия сложной кривизны. Управляющий контроллер робота синхронизирован с системой сбора УЗ-данных. Траектория сканирования программируется на основе CAD-модели сварных соединений

соответствующего участка трубопровода, что позволяет осуществлять полное покрытие его заданной области.

Модуль сбора и первичной обработки ультразвуковых данных включает в себя УЗ-дефектоскоп (аппаратный или программно-аппаратный), способный в реальном времени оцифровывать акустические сигналы (А-сигналы) с высокой частотой дискретизации. Для каждого положения робота координаты X, Y, Z и углы ориентации записываются в соответствующий акустический скан (А-скан) или радиочастотный сигнал. Совокупность этих данных формирует трехмерный массив, где две пространственные координаты задают положение, а третья (время или глубина) соответствует акустической информации. Система осуществляет первичную фильтрацию от электронного шума и, при необходимости, преобразование Гильберта для получения огибающей сигнала, что облегчает последующий анализ.

Модуль интеллектуального анализа данных на основе ИИ – это программная надстройка, являющаяся «мозгом» системы. Она должна принимать от модуля сбора и первичной обработки массив ультразвуковых данных и последовательно выполнять следующие задачи:

1) предобработка и аугментация данных: нормализация, дополнительная цифровая фильтрация, компенсация затухания;

2) сегментация и выделение областей интереса: автоматическое обнаружение сигналов, потенциально соответствующих дефектам, и их отделение от структурного шума (сигналов от границ, донного сигнала, зернистой структуры материала);

3) извлечение и классификация дефектов: определение типа дефекта, оценка его геометрических параметров;

4) принятие решения и формирование отчета: сопоставление результатов с критериями приемки, генерация карты дефектов и текстового заключения.

Именно в этом модуле применяются алгоритмы машинного обучения, которые требуют предварительного обучения на размеченных дефектоскопических данных.

Ключевой вызов для искусственного интеллекта в ультразвуковом контроле – это работа с нестационарными, зашумленными сигналами, вариативность которых зависит от множества факторов: типа материала, состояния поверхности, параметров дефектоскопа, контактной среды. Традиционные пороговые алгоритмы, основанные на амплитуде эхо-сигнала, часто дают ложные срабатывания. Методы машинного обучения позволяют выявлять более сложные, часто неочевидные для человека паттерны в данных.

Качество работы модели машинного обучения напрямую зависит от качества и объема обучающей выборки. Для обучения необходима база данных, содержащая тысячи размеченных А-сканов или фрагментов полутоновых или псевдоцветных изображений (С-сканов), где экспертом-дефектоскопистом указано наличие/отсутствие дефекта, его тип и параметры.

Работа с сырыми А-сканами (радиочастотными сигналами) – это наиболее информативный, но и наиболее объемный вид данных. Прямая подача та-

ких сигналов на вход нейронной сети требует больших вычислительных ресурсов. Часто применяется предварительное выделение инженерных признаков: статистические моменты (среднее, дисперсия, асимметрия, эксцесс), спектральные характеристики (полученные через быстрое преобразование Фурье – FFT), коэффициенты вейвлет-преобразования, которые позволяют анализировать сигнал одновременно во временной и частотной областях и эффективно выделять локальные особенности, характерные для дефектов [7].

Работа с С-сканами (изображениями амплитуд или времени прихода), где каждый пиксель соответствует амплитуде сигнала в данной точке, позволяет применять мощные алгоритмы компьютерного зрения, изначально разработанные для обработки изображений.

После выделения набора признаков из А-сканов для автоматического выявления дефектов могут быть использованы такие алгоритмы, как метод опорных векторов или ансамбли деревьев решений, а также может быть применен подход, основанный на глубоком обучении (Deep Learning).

Метод опорных векторов наиболее эффективен для бинарной классификации («дефект»/«не дефект») в пространстве высокого порядка, особенно при небольшом объеме обучающей выборки.

Ансамбли деревьев решений (Random Forest, Gradient Boosting) обладают высокой точностью, устойчивостью к переобучению и способны ранжировать важность выделенных признаков, что полезно для анализа физики процесса [8].

Подходы глубокого обучения (Deep Learning), в частности нейронные сети, позволяют автоматически извлекать иерархические признаки непосредственно из сырых или слабо обработанных данных, минимизируя участие человека. Среди нейронных сетей для решения задачи выявления дефектов сварных соединений трубопроводов следует выделить: сверточные нейронные сети (CNN) для анализа С-сканов; рекуррентные и гибридные нейронные сети для анализа временных рядов (А-сканов); одномерные сверточные нейронные сети (1D-CNN); рекуррентные нейронные сети (RNN); гибридные архитектуры.

Сверточные нейронные сети (CNN) для анализа С-сканов – это наиболее успешный инструмент для анализа изображений. Архитектура типа U-Net идеально подходит для сегментации дефектов на С-сканах. Сеть обучается выделять пиксели, принадлежащие дефектам, с высокой точностью, игнорируя шум и артефакты [9]. Для классификации типов дефектов по их изображению на С-скане используются классические архитектуры CNN (например, ResNet, VGG), предобученные на больших наборах изображений (ImageNet) и дообученные на дефектоскопических данных.

Рекуррентные и гибридные нейронные сети для анализа временных рядов (А-сканов) эффективны поскольку А-скан представляет собой последовательность отсчетов во времени.

Одномерные сверточные нейронные сети (1D-CNN) применяют свертки непосредственно к временному ряду, извлекая локальные признаки, инвариантные к небольшим сдвигам сигнала.

Рекуррентные нейронные сети (RNN), в частности долгая краткосрочная память (LSTM), предназначены для работы с последовательностями и способны улавливать долгосрочные зависимости в сигнале, что важно для анализа сложных эхо-картин от многослойных структур [10].

Гибридные архитектуры (CNN-LSTM) комбинируют преимущества нескольких подходов – CNN-слой извлекает локальные высокоуровневые признаки из сегментов A-скана, а LSTM-слой анализирует временную последовательность этих признаков для окончательной классификации.

Внедрение интегрированной системы автоматического выявления дефектов сварных соединений трубопроводов, содержащей роботизированный ультразвуковой комплекс и модель искусственного интеллекта, является многоэтапным процессом.

Перед началом контроля необходимо провести точную привязку системы координат робота к системе координат объекта и УЗ-датчика. Используются калибровочные образцы с эталонными отражателями. На этом же этапе оптимизируется скорость движения робота, которая должна быть согласована с частотой посылок дефектоскопа, чтобы обеспечить требуемое пространственное разрешение C-скана.

Формирование и обучение модели искусственного интеллекта – это центральный и наиболее ресурсоемкий процесс, разделенный на четыре этапа: сбор эталонных данных; проектирование архитектуры нейронной сети; обучение и валидация сети; тестирование интегрированной системы на независимой выборке.

Сбор эталонных данных предполагает проведение на контролируемых или специально изготовленных образцах с искусственными и естественными дефектами серии сканирований роботизированным комплексом. Полученные данные независимо анализируются и размечаются группой экспертов.

Проектирование архитектуры нейронной сети предполагает выбор архитектуры сети (CNN, LSTM, гибридной), который зависит от формата входных данных и решаемой задачи (сегментация, классификация).

Обучение и валидация предполагает обучение модели на части данных, а также контроль ее производительность на отдельной валидационной выборке для предотвращения переобучения. При этом используются метрики точности, полноты (recall), F1-меры для классификации и коэффициент Dice для сегментации.

Тестирование интегрированной системы на независимой выборке предполагает получение окончательной оценки на данных, не участвовавших ни в обучении, ни в валидации, для имитации реальных условий.

Обученная модель развертывается на вычислительном сервере, интегрированном с системой управления роботом и дефектоскопом. Создается пользовательский интерфейс для оператора, в котором отображается процесс сканирования в реальном времени, а после его завершения автоматически формируется отчет с картой дефектов.

Предполагается, что система может работать в двух режимах: полностью автономном (принятие решений без участия человека) или ассистивном, где искусственный интеллект выделяет области с вероятными дефектами для окончательной верификации дефектоскопистом [11].

Предложенная архитектура системы для автоматического выявления дефектов сварных соединений трубопроводов, сочетающая высокоточное роботизированное сканирование с интеллектуальным анализом данных на основе сверточных и рекуррентных нейронных сетей, позволит создать полностью автоматизированный контур неразрушающего контроля.

Следует предположить, что внедрение подобных систем позволит не только повысить надежность и безопасность трубопроводов, но и оптимизировать экономические затраты на их обслуживание, перейдя от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию (predictive maintenance).

Список литературы

1 Ерёмин, К.Н. Предложения по модернизации цифровой системы неразрушающего контроля сварных соединений под работу с рентгеновским излучением / К.Н. Ерёмин, В.А. Трипкош // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации : материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 70-летию ОГУ. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 78-82. Режим доступа: https://konf.osu.ru/nauka/assets/files/conf_info/conf1/s1.pdf (дата обращения: 25.01.2026).

2 Вопилкин, А.Х. Ультразвуковой контроль в машиностроении: теория и практика / А.Х. Вопилкин, Е.А. Головин. – М.: Машиностроение, 2017. – 456 с.

3 Кушнаренко, В.М. Построение автоматизированной системы управления состоянием объектов газотранспортной системы с идентификацией риска / В.М. Кушнаренко, 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.

4 Ермолов, И.Н. Неразрушающий контроль: [в 5 кн.] Кн. 2: Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Высшая школа, 2015. – 687 с.

5 Карпов, А.С. Роботизированные комплексы для неразрушающего контроля сложнопрофильных изделий / А.С. Карпов, А.В. Петров // Дефектоскопия. – 2020. – № 5. – С. 45-55.

6 Сергеев, С.В. Системы силомоментного очувствления в робототехнических комплексах неразрушающего контроля / С.В. Сергеев, Н.А. Кузнецов // Датчики и системы. – 2019. – № 8. – С. 32-39.

7 Малышев, А.А. Выделение информативных признаков в ультразвуковых сигналах на основе вейвлет-анализа / А.А. Малышев, И.В. Соколов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2018. – № 3. – С. 17-24.

8 Загорский, В.Л. Применение ансамблей деревьев решений для классификации дефектов по данным ультразвукового контроля сварных швов / В.Л. Загорский, А.Н. Тимофеев // Информатика и системы управления. – 2021. – № 2(68). – С. 88-97.

9 Иванов, Д.К. Сегментация изображений С-сканов с использованием сверточной нейронной сети U-Net для автоматического выявления расслоений в композитах / Д.К. Иванов, Р.А. Федоров // Труды СПбГПУ. – 2022. – № 1(542). – С. 112-123.

10 Ковалев, С.П. Распознавание типов дефектов в ультразвуковых А-сканах с использованием гибридной архитектуры CNN-LSTM / С.П. Ковалев, М.Ю. Орлов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2021. – № 4. – С. 56-67.

11 ГОСТ Р 58781-2019 (ИСО 18490:2017). Неразрушающий контроль. Оценка характеристик систем цифровой рентгенографии и систем ультразвукового контроля с использованием программного обеспечения для обработки изображений и сигналов. – М.: Стандартинформ, 2019. – 27 с.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

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

Контроль качества сварных соединений остается критически важной задачей в таких отраслях, как мостостроение, нефтегазовая промышленность, судостроение и энергетика, где от надежности сварных швов зависит безопасность и долговечность конструкций [1].

Традиционные методы неразрушающего контроля (НК), такие как радиографический и ультразвуковой контроль, обладают высокой достоверностью, но часто требуют сложного стационарного оборудования, длительного времени на подготовку и проведение, а также высокой квалификации дефектоскописта. В полевых и цеховых условиях или при необходимости массового контроля на производственной линии эти факторы становятся сдерживающими [2].

Визуальный и измерительный контроль, являясь наиболее оперативным, сильно зависит от человеческого фактора и не способен выявлять внутренние и подповерхностные дефекты.

В этой связи методы теплового контроля, в частности активная термография, приобретают особую значимость. Данный метод основан на анализе температурных полей на поверхности объекта после его кратковременного теплового возбуждения. Наличие дефектов изменяет тепловой поток, что проявляется в виде температурных аномалий на термограмме [3]. Преимуществами являются бесконтактность, высокая скорость сканирования и возможность контроля больших площадей.

Однако интерпретация термограмм также требует экспертных знаний, а вариабельность условий усложняет анализ. Решением данной проблемы является применение алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), способных автоматически выделять признаки дефектов на тепловых изображениях [4]. При этом для полевого применения необходима мобилизация решения – создание портативного, автономного комплекса, использующего роботизированные сканеры.

Роботизированные сканеры позволяют с высокой повторяемостью проводить сложные траектории, но их работа часто сводится к простой записи «сырых» данных без интеллектуальной обработки в реальном времени [5].

Таким образом, целью данной работы является разработка концепции и описание принципов построения мобильной интеллектуальной системы для экспресс-оценки качества сварных швов на основе термографии, а также анализ

путей ее интеграции с роботизированным ультразвуковым контролем для формирования двухуровневой гибридной системы контроля.

Основные задачи исследования включают: анализ архитектуры системы; выбор и адаптацию алгоритмов ИИ для мобильной платформы; описание процедуры формирования обучающих данных и рассмотрение сценариев синергии с роботизированными комплексами.

Архитектура предлагаемой мобильной термографической системы с искусственным интеллектом представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из трех основных модулей: модуля сбора данных, мобильного вычислительного модуля и модуля визуализации и отчетности.

Модуль сбора данных включает в себя малогабаритный тепловизор с разрешением не менее 320×240 пикселей и чувствительностью (NETD) не более 50 мК. Для реализации активной термографии используется внешний источник теплового возбуждения – мощные светодиодные матрицы или галогенные лампы, управляемые по беспроводному каналу. Тепловизор через интерфейс USB-C или Wi-Fi передает видеопоток в вычислительный модуль.

Мобильный вычислительный модуль является ядром системы. В его основе – одноплатный компьютер с производительным графическим ускорителем, например, семейства NVIDIA Jetson (Nano, Xavier NX), или современный промышленный планшет. На данном модуле развернуто программное обеспечение, реализующее алгоритм ИИ. Архитектура алгоритма должна соответствовать требованиям мобильности – высокое быстродействие при ограниченных вычислительных ресурсах и энергопотреблении. Наиболее подходящим решением является использование сверточных нейронных сетей с предобученными легковесными архитектурами, такими как MobileNetV3 или EfficientNet-Lite [6].

Сеть обучается не на задаче семантической сегментации, а на классификации отдельных кадров видеопотока или небольших областей интереса, выделенных в реальном времени. На выходе модель определяет вероятность принадлежности анализируемого участка к классам: «годный шов», «дефект типа «поры/скопление пор», «дефект типа «непровар», «дефект типа «трещина».

Модуль визуализации и отчетности реализован в виде пользовательского интерфейса на сенсорном экране операторского компьютера или планшета. Интерфейс отображает цветную термограмму в реальном времени с наложенными поверх нее метками (bounding boxes), выделяющими области с выявленными дефектами, и указанием вероятности и класса. Результаты контроля (термограмма с аннотациями, метка GPS, время) автоматически сохраняются в структурированную базу данных и формируются в краткий отчет.

Рабочий цикл системы выглядит следующим образом: оператор наводит тепловизор на сварной шов и производит кратковременный тепловой импульс; система в течение 1-3 секунд обрабатывает последовательность термограмм (холодное состояние, нагрев, остывание), выделяет зону шва и передает данные в нейросеть; результат отображается на экране. Это соответствует требованию «экспресс-оценки».

Формирование обучающей выборки и обучение модели является ключевой проблемой разработки систем искусственного интеллекта, так как имеет место дефицит данных.

Для термографии сварных швов открытые датасеты практически отсутствуют. Поэтому формирование обучающей выборки является отдельной научно-практической задачей. Технологическая схема решения проблемы «дефицита данных» и формирования гибридной обучающей выборки и обучения CNN для термографического контроля сварных швов приведена на рисунке 1.

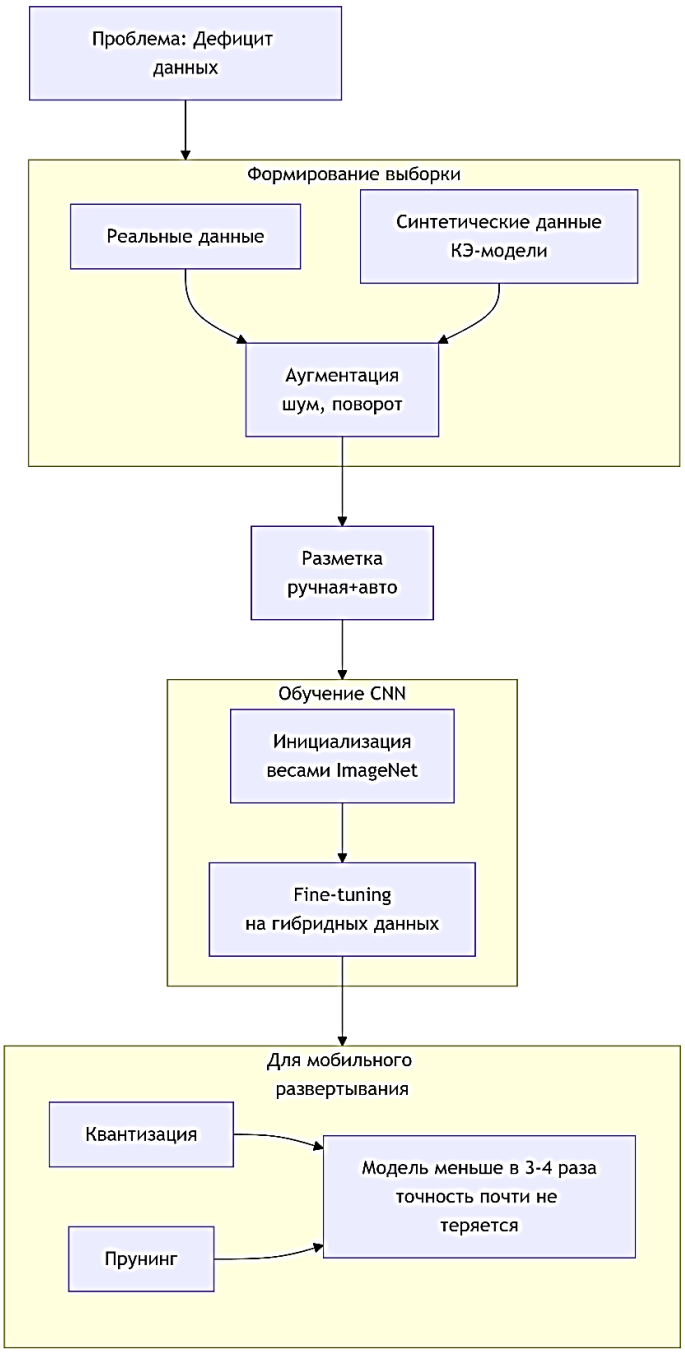


Рисунок 1 – Технологическая схема формирования гибридной обучающей выборки и обучения CNN для термографического контроля сварных швов

В рамках предлагаемого подхода используется метод синтеза гибридных данных. База создается из двух частей – реальные данные и синтетические данные.

В случае использования реальных данных снимаются термограммы с эталонных сварных образцов с искусственно внесенными дефектами, а также с реальных производственных конструкций, прошедших последующий контроль эталонными методами (ультразвуковой контроль, рентген).

В случае использования синтетических данных для расширения выборки применяется генерация термограмм на основе физического моделирования тепловых процессов. Используются конечно-элементные модели (КЭ-модели) сварного соединения с дефектами различной геометрии и локализации. На таких моделях рассчитываются температурные поля в различные моменты времени, которые затем визуализируются как термограммы [7]. Это позволяет получить тысячи вариативных образцов.

Полученные изображения проходят аугментацию: геометрические преобразования (поворот, сдвиг), добавление шумов, имитация неидеальности нагрева. Разметка производится вручную для реальных данных и автоматически – для синтетических.

Обучение CNN проводится в несколько этапов. Сначала модель инициализируется весами, предобученными на крупном датасете обычных изображений (ImageNet), что ускоряет сходимость. Затем производится дообучение (fine-tuning) на собранном гибридном термографическом датасете. Для оптимизации модели под мобильное развертывание применяются методы квантизации (сведение вычислений с плавающей точкой к целочисленным) и прунинга (отсечение малозначимых нейронов), что позволяет сократить размер модели в 3-4 раза с минимальной потерей точности [6].

Мобильная термографическая система решает задачу быстрого скрининга – обнаружения потенциально дефектных зон на большой площади. Однако для точной классификации, определения размеров и глубины залегания дефекта требуется более точный метод.

Предлагается двухуровневая архитектура гибридной системы:

– уровень 1 (быстрое сканирование);

– уровень 2 (детальная инспекция).

На уровне 1, при быстром сканировании, оператор или базовый мобильный робот с помощью, описанной мобильной термографической системы проводит обследование всего сварного шва. Далее система ИИ в реальном времени строит «тепловую карту» шва с отмеченными координатами аномалий. Эта карта и координаты передаются на уровень 2.

На уровне 2, при детальной инспекции, роботизированный манипулятор с ультразвуковой головкой (фазированной решеткой) получает целевые координаты от уровня 1. Вместо сканирования всего шва, робот перемещает датчик точно к зонам интереса. Здесь в работу включается второй контур ИИ, встроенный в систему управления роботом и обработки ультразвуковых сигналов.

Второй контур выполняет две основные функции:

1) алгоритмы на основе машинного обучения анализируют тип термографической аномалии и данные предварительного сканирования;

2) нейросетевая модель сегментирует и классифицирует дефекты непосредственно на ультразвуковых данных, при этом модель обучена отличать истинные дефекты от структурных отражений и помех [8].

Обработка происходит онлайн, что позволяет роботу при необходимости автоматически адаптировать траекторию сканирования для уточнения границ дефекта.

Таким образом, в работе представлена комплексная концепция мобильной интеллектуальной системы для экспресс-контроля сварных швов на основе активной термографии. При практической реализации предлагаемой двухуровневой гибридной системы, где искусственный интеллект управляет как интерпретацией данных, так и действиями робота, следует ожидать значительного повышения эффективности автоматизации неразрушающего контроля. Так как такой подход позволяет сочетать скорость бесконтактного теплового метода с точностью контактного ультразвукового, минимизируя ручной труд.

Список литературы

1 Клюев, В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев. – М.: Машиностроение, 2016. – 752 с.

2 Гурвич, А.К. Неразрушающий контроль сварных соединений / А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов. – М.: Высшая школа, 2004. – 439 с.

3 Молочков, Ю.Б. Тепловой контроль в машиностроении / Ю.Б. Молочков. – СПб.: Политехника, 2007. – 237 с.

4 Шрамов, А.В. Применение нейронных сетей для автоматизации дефектоскопии / Ю.Б. Шрамов // Контроль. Диагностика. – 2020. – № 5. – С. 12-18.

5 Роботизированные системы ультразвукового контроля / Под ред. С.П. Карпушина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2019. – 168 с.

6 Хан, Э. Глубокое обучение на устройствах Интернета вещей / Э. Хан; пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 292 с.

7 Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: Спектр, 2013. – 560 с

8 Глушков, С.И. Алгоритмы обработки ультразвуковых сигналов на основе машинного обучения для автоматизированного дефектоскопирования / С.И. Глушков // Дефектоскопия. – 2021. – № 8. – С. 3-15.

РОЛЬ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГАЗОДИНАМИКЕ И БАЛЛИСТИКЕ ПРИ СОЗДАНИИ РЕАКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ

[1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Великая Отечественная война стала для СССР периодом масштабного технологического рывка, особенно в области вооружений. Этот прорыв опирался на только на инженерную смекалку, но и на фундаментальные научные исследования. Одним из наиболее значимых достижений стала мобильная реактивная система залпового огня БМ-13 «Катюша» (рисунок 1). Ее создание и успешное применение стали прямым следствием глубоких теоретических изысканий в области газодинамики, баллистики и термодинамики в предвоенные годы.

Рисунок 9 – «Катюша»

Народное прозвище «Катюша» имеет две основные версии происхождения: по марке завода имени Коминтерна или по названию популярной песни того времени. Это система не только продемонстрировала огромную ударную мощь, но и стала наглядным воплощением советского инженерного гения. Инженеры и ученые успешно реализовали сложнейшие теоретические наработки в сложнейших условиях дефицита времени и ресурсов

Ключевую роль в создании снарядов для «Катюши» сыграл Георгий Эрихович Лангемак (рисунок 2). Обучаясь в военно-технической академии, он попал под влияние основоположников теории реактивной тяги Н. И. Тихомирова и А. А. Серикова. В лаборатории газовой динамики Лангемак не просто эмпирически улучшал существующие образцы, но и целенаправленно занимался исследованиями горения пороха в закрытой камере, решая задачи стабилизации снаряда в полете и увеличения дальности. Результатом этой работы стали зна-

менитые реактивные снаряды РС-82 и более мощные РС-132 (рисунок 3), которые и легли в основу комплекса БМ-13 «Катюша».

Рисунок 2 – Георгий Эрихович Лангемак

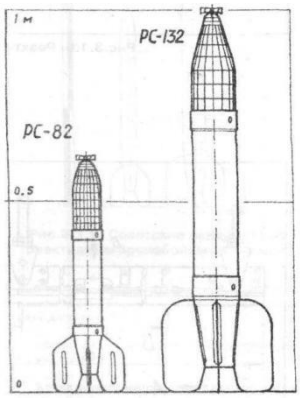


Рисунок 3 – Ракеты РС-82 и РС-132

Лангемак по праву считается одним из создателей научных основ для расчета ракетных пороховых двигателей.

Осознавая стратегическую перспективность нового оружия, руководство страны в 1933 году инициировало создание Реактивного научно-исследовательского института (РНИИ). Эта организация стала уникальным интеллектуальным котлом, где были сконцентрированы лучшие умы того времени. Здесь бок о бок с Лангемаком трудилась целая плеяда выдающихся ученых, заложивших основы советского ракетостроения и космонавтики:

– Валентин Петрович Глушко – гениальный конструктор двигателей;

– Сергей Павлович Королев – будущий главный конструктор космических кораблей;

– Михаил Тихонравов – инженер, который принимал участие в разработке первых космических кораблей, и другие выдающиеся личности.

Их теоретическую базу во многом подготовили труды Константина Циолковского, который, хотя и не работал непосредственно в РНИИ, был идейным вдохновителем. Институт стал местом, где формулы и расчеты обретали конкретные формы в чертежах и опытных образцах.

Практическим выводом из колоссальной теоретической работы стали ключевые формулы, описывающие работу реактивных снарядов и ракет.

Для описания скорости применялась формула Циолковского

$$\mathrm{V} = \mathrm{I} * \ln\left(\frac{\mathrm{M}^1}{\mathrm{M}^2}\right), \quad (1)$$

где V – конечная скорость ракеты; I – удельный импульс ракетного двигателя; M^1 – начальная масса летательного аппарата; M^2 – конечная масса.

Формула Циолковского позволила рассчитывать максимальную скорость ракеты, определять критически важный запас топлива и заложила основы теории многоступенчатых ракет, без которой были бы невозможны космические полеты.

Сергеем Петровичем Глушко была выведена формула для расчета реактивной тяги двигателя

$$P = \dot{m} * c + (p^1 - p^2) * F, \quad (2)$$

где P – тяга двигателя (в Ньютонах); $\dot{m}$ – массовый расход рабочего тела (кг/с); c – скорость истечения газов из сопла (м/с); p^1 – давление в камере сгорания (Па); p^2 – давление на выходе из сопла (Па); F – площадь сечения сопла ($м^2$).

Эта формула стала краеугольным камнем для проектирования всех последующих ракетных и реактивных двигателей, позволяя оптимизировать соотношение массы, мощности и расхода топлива.

Также были выведены и применены на практике формулы для оценки эффективности поражения осколочно-фугасной боевой части и закон подобия, позволивший корректно масштабировать конструкции от небольших снарядов к будущим межконтинентальным ракетам.

Эффективность поражения вычисляется по следующей формуле

$$E = \frac{(m * v * g)}{(m^1 * v^1)}. \quad (3)$$

Эта формула применялась при разработке ракет РС-82 и РС-132, которые впоследствии стали основой огневой силы БМ-13 «Катюша». Она позволяет определить эффективность преобразования химической энергии взрывчатого вещества в кинетическую энергию ракеты.

Закон подобия вычисляется по следующей формуле

$$\lambda = \left(\frac{F^1}{F^2}\right) = \left(\frac{d^{12}}{d^{22}}\right) = \left(\frac{p^1}{p^2}\right), \quad (4)$$

где λ – коэффициент подобия; F^1 и F^2 – площади поперечного сечения критического сечения сопла и выходного сечения соответственно; d^{12} и d^{22} – диаметры в критическом сечении и выходном сечении сопла; p^1 и p^2 – давления в камере сгорания и на выходе из сопла.

Таким образом, разработка «Катюши» стала не просто успешным инженерным проектом, а видимым результатом глубинных теоретических изысканий. Совместная работа ученых в РНИИ создала уникальную научную школу и сплоченное сообщество специалистов. Этот задел оказался бесценным. Прочный теоретический фундамент, заложенный в военные годы, позволил СССР в послевоенный период совершить стремительный рывок, сначала в создании ядерного щита на основе баллистических ракет, а затем в освоении космического пространства. Принципы газодинамики и баллистики, сформулированные и опробованные при создании реактивного вооружения, остаются актуальными и в современной ракетно-космической отрасли.

Список литературы

1 Георгий Эрихович Лангемак – создатель «Катюши» [Электронный ресурс]. – URL: https://aussiedlerbote.de/2016/07/georgii-erihovich-langemak-sovetskii-nemec-sozdatel-katyushi/ (дата обращения: 28.01.2026).

2 Лихачёв, В. Создатели реактивной артиллерии / В. Лихачёв, А. Баженов // Наука и жизнь. – 1986. – № 6. – С. 42–48.

3 Габелко, Д.Е. История создания и применения первых боевых машин «Катюша» (РСЗО БМ-13-16) [Электронный ресурс] / Д.Е. Габелко, Н.В. Канаев, Р.Ю. Собкалов // Сова. – 2010. – № 2 (4). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-sozdaniya-i-primeneniya-pervyh-boevyh-mashin-katyusha-rszo-bm-13-16 (дата обращения: 28.01.2026).

4 Гамова, Н.А. Дифференциальные уравнения в моделирующих процессах / Н.А. Гамова, Ф.В. Васильченко // Флагман науки. – 2025. – № 3 (26). – СПб.: Изд. ГНИИ «Нацразвитие». – С. 45-49.

5 Захаров, И.С. Применение дифференциальных уравнений в теории полета ракеты [Электронный ресурс] / И.С. Захаров, Н.А. Гамова // Шаг в науку. – 2019. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-differentsialnyh-uravneniy-v-teorii-poleta-rakety (дата обращения: 28.01.2026).

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ МОРСКИХ БПЛА И УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК

[1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Динамичное развитие технологий беспилотных авиационных систем морского базирования предъявляет новые требования к их проектированию. Современные комплексы должны быть способны оперативно адаптироваться к широкому спектру задач: от разведки, наблюдения и целеуказания до радиоэлектронной борьбы и грузоперевозок. Традиционный подход к созданию таких систем, предполагающий разработку специализированного БПЛА и уникальной пусковой установки под конкретную миссию, становится экономически и технологически неэффективным. Он ведет к росту номенклатуры техники, сложности логистики и высоким затратам на весь жизненный цикл. В этой связи актуальным направлением является переход к модульным архитектурам, основанным на системотехнических принципах. Вопросы модульности в технических системах освещались в работах таких авторов, как Иванов С.П., Петров В.И., однако их приложение именно к интеграции морских БПЛА и УПУ в качестве единого комплекса изучено недостаточно. Целью данной работы является разработка и анализ модульной архитектуры комплекса «морской БПЛА – универсальная пусковая установка» на основе системотехнических принципов. Для достижения цели решались задачи:

– проведение функциональной декомпозиции комплекса;

– синтез вариантов модульной структуры;

– сравнительный анализ предложенных архитектур по критериям адаптивности и технологичности.

Методологической основой исследования выступили общие принципы системотехники:

– декомпозиция (расчленение сложной системы на подсистемы);

– абстрагирование (выделение существенных характеристик);

– итеративный синтез (последовательное приближение к оптимальному решению).

В работе применялись методы функционально-структурного моделирования с использованием метод морфологического анализа для генерации вариантов архитектурных решений и метод сравнительного анализа на основе экспертных оценок. В качестве объекта анализа рассматривался гипотетический комплекс прибрежного базирования. Все расчеты, оценки и модели, представ-

ленные далее, носят иллюстративный характер и получены в рамках авторского концептуального моделирования для демонстрации логики подхода.

Первым этапом исследования стала функциональная декомпозиция комплекса «БПЛА-УПУ». Были выделены ключевые функции: навигация и движение по поверхности/в воздухе, взлет и посадка, размещение и запуск, выполнение целевой задачи (разведка, транспортировка и др.), энергоснабжение, управление и связь, техническое обслуживание. На основе этого анализа были синтезированы два принципиально разных архитектурных варианта.

Вариант 1 (Традиционная, «жесткая» архитектура). БПЛА представляет собой монолитную конструкцию, где платформа и полезная нагрузка неразделимы. УПУ спроектирована исключительно под габаритно-массовые и стыковочные характеристики данного конкретного БПЛА. Пример: специализированный разведывательный БПЛА с оптико-электронной станцией, стационарно смонтированной на корпусе, и невзаимозаменяемой катапультной установкой.

Вариант 2 (Модульная архитектура [1]). Комплекс строится на принципах функционального разделения. Он включает:

1) универсальное шасси (носитель) – базовый модуль, содержащий силовую установку, систему управления, навигации и основные бортовые системы;

2) сменные модули полезной нагрузки (МПН) – конейнеризованные блоки: разведки (радиотехнической, оптико-электронной), радиорелейной связи, постановки помех, транспортировки грузов;

3) универсальную пусково-приемную установку [2, 4] (УППУ) – контейнерного или рельсового типа, способную осуществлять хранение, подготовку и запуск/прием различных комбинаций, а также обслуживать и заряжать модули.

Сравнительный анализ архитектур по условным критериям (оценка от 1 до 5, где 5 – максимум), представленный в таблице 1, демонстрирует преимущества модульного подхода.

Таблица 1 – Сравнительный анализ архитектур БПЛА

Критерий оценки	**Вариант 1 (Традиционный)**	**Вариант 2 (Модульный)**
Гибкость (число конфигураций)	1	4
Стоимость модернизации	1	4
Технологичность обслуживания	2	5
Унификация складских запасов	2	5
Масса комплекса в сборе	4	3

Ключевым элементом, обеспечивающим работоспособность модульной архитектуры, является стандартизация интерфейсов. Необходимо разработать единые:

1) механический интерфейс (крепление МНП к носителю и установке, система фиксации);

2) электрический интерфейс (разъемы питания, напряжения, токи);

3) информационный интерфейс (протоколы обмена данными между носителем, МПН и наземным пунктом управления). Это позволит обеспечить совместимость модулей.

Обсуждение результатов показывает, что модульная архитектура, несмотря на некоторое увеличение начальной сложности проектирования и массогабаритного запаса, дает стратегическое преимущество. Она позволяет быстро менять функциональность комплекса, заменяя только МПН, а не весь БПЛА. В условиях ограниченного бюджета и быстро меняющейся оперативной обстановки это является критически важным фактором. Кроме того, такой подход упрощает логистику и ремонт, так как типовые модули могут обслуживаться централизованно.

В заключении отметим следующее:

– применение системотехнических принципов, в первую очередь модульности и стандартизации интерфейсов, позволяет перейти от создания узкоспециализированных комплексов к разработке адаптивных систем морских БПЛА на основе универсальной платформы и сменных модулей [3];

– предложенная модульная архитектура связки «БПЛА-УПУ» демонстрирует существенные преимущества перед традиционной по критериям гибкости, стоимости жизненного цикла и ремонтопригодности;

– ключевым условием успешной реализации модульного подхода является глубокая и всесторонняя стандартизация механических, электрических и информационных интерфейсов между всеми компонентами комплекса [5];

– внедрение подобных передовых технических решений напрямую зависит от качества инженерного образования. Подготовка специалистов, способных мыслить системно, проектировать не отдельные устройства, а комплексные адаптивные системы и их стандартизированные интерфейсы, становится важнейшей задачей для аэрокосмических и судостроительных вузов. Только интеграция фундаментальных знаний с практикой современного системотехнического проектирования позволит обеспечить технологический суверенитет в области разработки перспективных морских беспилотных комплексов.

Список литературы

1 Давыдов, А.Д. Моделирование и оценки основных составляющих технико-экономической эффективности модульных БПЛА с учетом влияния унификации [Электронный ресурс] / А.Д. Морозов // Московский экономический журнал. – 2023. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-i-otsenki-osnovnyh-sostavlyayuschih-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-modulnyh-bpla-s-uchetom-vliyaniya (Дата обращения: 28.01.2026).

2 Климовский, Д.А. Разработка стартового устройства для беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] / Д.А. Климовский, Е.Д. Крылов, А.В. Шатов // Решетневские чтения. – 2011. – № 15. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-startovogo-ustroystva-dlya-bespilotnogo-letatelnogo-apparata (Дата обращения: 28.01.2026).

3 Никонова, А.А. Методологические вопросы создания адаптивных производственных систем [Электронный ресурс] / А.А. Никонова // Хроноэкономика. – 2020. – № 5 (26). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-voprosy-sozdaniya-adaptivnyh-proizvodstvennyh-sistem (дата обращения: 29.01.2026).

4 Середа, В.А. Постановка задачи оптимизации наземных пусковых устройств [Электронный ресурс] / В.А. Середа // Труды МАИ. – 2013. – № 70. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/postanovka-zadachi-optimizatsii-nazemnyh-puskovyh-ustroystv (Дата обращения: 28.01.2026).

5 Яронова, Н.В. Использование GPS-модулей для передачи данных беспилотными летающими аппаратами [Электронный ресурс] / Н.В. Яронова, А.А. Аметова // Universum: технические науки. – 2021. – № 11-2 (92). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-gps-moduley-dlya-peredachi-dannyh-bespilotnymi-letayuschimi-apparatami (Дата обращения: 28.01.2026).

ЭВОЛЮЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК: ОТ «БУЛАВЫ» К КОМПЛЕКСАМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

[1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Морская составляющая стратегических ядерных сил традиционно считается наиболее скрытным и живучим элементом триады сдерживания. Её эффективность и надежность напрямую определяется техническими характеристиками баллистических ракет подводных лодок. Принятие на вооружение в 2013 году комплекса Д-30 с твердотопливной межконтинентальной баллистической ракетой Р-30 «Булава» для оснащения подводных крейсеров проекта 955 «Борей» ознаменовало качественный скачок в развитии всей отечественной школы подводного ракетостроения. «Булава» стала технологическим фундаментом, платформой, на основе которой ведутся разработки систем следующего поколения. Целью данного анализа является прослеживание линии эволюции отечественных БРПЛ от решений, реализованных в «Булаве», к формирующемуся облику перспективных стратегических комплексов, создаваемых в ответ на новую геополитическую реальность и опережающее развитие многоэшелонных систем противоракетной обороны потенциального противника [4].

Ракета Р-30 «Булава» представляет собой синтез многолетних наработок и инновационных подходов. Её ключевые особенности стали базовыми принципами для всех последующих проектов.

Во-первых, это переход на твердотопливную двигательную установку [2, 3], что кардинально повысило безопасность хранения боеприпасов на борту подводной лодки, сократило время подготовки к пуску и упростило эксплуатацию по сравнению с жидкостными ракетами предыдущих поколений.

Во-вторых, «Булава» получила комплекс средств преодоления ПРО нового уровня, включающий не только пассивные ложные цели, но и системы активного радиоэлектронного противодействия. Наиболее значимым нововведением стало оснащение боевых блоков аппаратурой маневрирования на конечном, атмосферном участке траектории, что резко снизило вероятность их перехвата.

В-третьих, для обеспечения высокой точности поражения (малого кругового вероятного отклонения) в условиях возможного подавления глобальных спутниковых навигационных систем ракета использует автономную комбинированную систему наведения: инерциальную на активном участке и астрокоррекцию [1, 5] – на среднем. Таким образом, «Булава» закрепила три основопо-

лагающих принципа развития современных БРПЛ: повышение живучести носителя (за счет твердого топлива и оперативности старта), повышение устойчивости ракеты на траектории (за счет маневрирования и средств радиоэлектронной борьбы) и обеспечение автономной точности (за счет астрокоррекции).

Рисунок 1 – Ракета Р-30 «Булава»

Эволюция от технологий «Булавы» к комплексам нового поколения определяется несколькими чётко выраженными векторами, обусловленными необходимостью гарантированного преодоления перспективной ПРО. Первый и главный вектор – переход от простого аэродинамического маневрирования боевых блоков к использованию гиперзвуковых планирующих крылатых блоков. Если «Булава» корректирует траекторию падения, то системы следующего поколения, аналогичные наземному комплексу «Авангард», предполагают оснащение боевых блоков собственными гиперзвуковыми двигателями или возможностью длительного управляемого планирования в атмосфере на скоростях, многократно превышающих скорость звука. Такие блоки способны летать по непредсказуемым, небаллистическим траекториям, что делает бессмысленными расчёты традиционных систем перехвата, основанные на прогнозировании баллистической кривой.

Второй вектор связан с интеллектуализацией всего ракетного комплекса. Развитие микропроцессорной техники и алгоритмов искусственного интеллекта открывает путь к реализации концепции группового, или «роевого», применения боевых блоков. В этом случае блоки, отделившиеся от разгонной ступени, будут не просто лететь по независимым программам, а смогут в реальном времени обмениваться данными, координировать свои действия, коллективно оценивать работу средств ПРО противника и распределять цели. Один из блоков может взять на себя роль «разведчика-подавителя», активируя средства радиоэлектронной борьбы и прокладывая путь для остальных. Это качественно усложняет задачу системы обороны, которая должна будет селектировать не просто отдельные истинные цели, а противостоять скоординированному интеллектуальному «рою».

Третий вектор развития заключается в интеграции БРПЛ в единый стратегический информационно-управляющий контур. Ракета следующего поколения перестает быть изолированным, заранее запрограммированным изделием. Она становится элементом сетевой системы, способным получать обновленные данные о цели или оперативно перенацеливаться уже после старта с борта подводной лодки. Источниками информации могут выступать спутники-разведчики, беспилотные летательные аппараты, надводные корабли или подводные датчики. Создание защищенных, устойчивых к помехам каналов связи для передачи таких данных на гиперзвуковой блок, летящий в плазме, является одной из сложнейших задач, решение которой придаст морским стратегическим силам беспрецедентную гибкость.

Эволюция ракетного оружия неотделима от развития его носителей. Подводные лодки проектов 955А «Борей-А» и перспективного «Борей-Б» проектируются с учетом требований по размещению и применению ракет, превосходящих «Булаву» по своим характеристикам. Это предполагает дальнейшее снижение акустической заметности, совершенствование систем боевого управления для реализации концепции «сетевого» применения и, в целом, повышение скрытности и автономности всего ракетоносца как единой системы.

В заключение можно констатировать, что эволюция отечественных БРПЛ от комплекса «Булава» к системам будущего – это не линейное наращивание дальности или мощности, а глубокая качественная трансформация. Она знаменует переход от баллистической ракеты как средства доставки к высокоинтеллектуальному гиперзвуковому комплексу, действующему в плотном информационном поле и способному к коллективному взаимодействию. Опираясь на уникальный технологический фундамент, заложенный при создании «Булавы», российская оборонно-промышленная мысль формирует новый, асимметричный ответ на глобальные вызовы в сфере противоракетной обороны, надежно обеспечивая стратегическое сдерживание на десятилетия вперед.

Список литературы

1 Болотнов, А.С. Достижимые погрешности определения навигационных параметров, формируемых астроинерциальной навигационной системой [Элек-

тронный ресурс] / А.С. Болотнов, Е.В. Бурый, Г.В. Кондрашкин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2025. – № 2 (151). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dostizhimye-pogreshnosti-opredeleniya-navigatsionnyh-parametrov-formiruemyh-astroinertsialnoy-navigatsionnoy-sistemoy (дата обращения: 28.01.2026).

2 Гатина, Р.З. Осуществление процесса горения твердого ракетного топлива [Электронный ресурс] / Р.З. Гатина, Р.Р. Зайнуллин // Форум молодых ученых. – 2017. – № 9 (13). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osuschestvlenie-protsessa-goreniya-tverdogo-raketnogo-topliva (дата обращения: 28.01.2026).

3 Елькин, А.В. Ракетный двигатель на гранулированном твердом топливе [Электронный ресурс] / А.В. Елькин, Е.С. Земерев, В.И. Малинин, Л.Л. Хименко, Ф.Р. Хазиахметова // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2021. – № 64. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raketnyy-dvigatel-na-granulirovannym-tverdom-toplive (дата обращения: 28.01.2026).

4 Евтифьев, М.Д. Комплексный технико-экономический анализ баллистических ракет подводных лодок (часть 1) [Электронный ресурс] / М.Д. Евтифьев // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2007. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-tehniko-ekonomicheskiy-analiz-ballisticheskih-raket-podvodnyh-lodok-chast-1 (дата обращения: 29.01.2026).

5 Сорокин, А.И. Астроинерциальная навигационная система [Электронный ресурс] / А.И. Сорокин // Символ науки. – 2020. – № 6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/astroinertsialnaya-navigatsionnaya-sistema (дата обращения: 28.01.2026).

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СТОИМОСТИ ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЧЕРЕЗ МИНИМИЗАЦИЮ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

[1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

Сегодня стоимость выведения космических аппаратов является определяющим фактором для эффективности и конкурентоспособности проектов в аэрокосмической отрасли. Масса конструкции (МК) выступает ключевым драйвером формирования этой стоимости. Учитывая, что расходы на запуск могут достигать огромных величин, задача их снижения во многом сводится к минимизации веса конструкции. Применение композитных материалов позволяет существенно уменьшить массу и, как следствие, затраты на выведение [1].

Целью данной работы является предоставление экономико-математического анализа влияния массы конструкции на стоимость запуска при использовании композитов, а также выявление основных закономерностей и разработка практических рекомендаций.

Важно подчеркнуть, что снижение массы конструкции ведет не только к экономии на топливе, но и к росту полезной грузоподъемности, что особенно значимо для коммерческих миссий. Это создает кажущийся парадокс: более высокие первоначальные вложения в композиционные материалы могут быть скомпенсированы долгосрочными экономическими выгодами, которые в итоге превосходят начальные издержки.

Экономико-математическое моделирование – это совокупность методов, интегрирующих инструменты математической экономики [3], экономической кибернетики [2] и смежных областей для анализа социально-экономических систем. В контексте данного исследования эти методы применяются с целью выявления и количественной оценки взаимосвязи между массой конструкции и стоимостью ее запуска. Использование математических моделей дает возможность не только описать существующие взаимосвязи, но и прогнозировать как варьирование одного параметра (например, массы) скажется на других ключевых показателях системы.

Как показывают исследования, увеличение массы конструкции всего на 1 кг приводит к росту стоимости приблизительно на 10 000 долларов США. Эта цифра наглядно демонстрирует, что снижение веса является первостепенной задачей для минимизации общих расходов. Более того, дополнительная масса часто требует усложнения и удорожания существующих систем (управления,

стабилизации и безопасности), что лишь усиливает актуальность поиска решений по облегчению конструкции.

Кроме прямого влияния на стоимость запуска, масса конструкции космического аппарат является критическим параметром при выборе ракеты-носителя, определении требований к системам безопасности и адаптации технологических решений. Поэтому на этапе проектирования необходим комплексный анализ, учитывающий не только характеристики материалов, но и трудоемкость, длительность и стоимость связанных с ними производственных процессов.

Композитные материалы обладают рядом ключевых преимуществ, главные из которых – малый вес в сочетании с высокой удельной прочностью. Так, применение углеродного волокна способно уменьшить массу конструкции на 50-70% по сравнению с классическими металлическими сплавами. Благодаря этому композиты становятся оптимальным решением для аэрокосмической отрасли, где требования к прочностным характеристикам при минимальном весе являются определяющими.

Однако применение композитов сопряжено со значительными первоначальными затратами на их производство и высокотехнологичную обработку. Кроме того, работа с такими материалами требует специальных компетенций, что влечет за собой дополнительные расходы на обучение и подготовку кадров. В связи с этим, принятие решения о внедрении композитов должно основываться на всестороннем анализе, учитывающем как их уникальные преимущества, так и сопутствующие технологические и экономические сложности.

Для количественной оценки разработана экономическая модель, включающая ключевые переменные: стоимость композитных материалов, производственные издержки и массу конструкции. Её основное уравнение представлено ниже

$$C = k \cdot M + B, \tag{1}$$

где C – общая стоимость запуска, долл. США;

k – коэффициент, учитывающий затраты на 1 кг массы;

M – масса конструкции, кг;

B – фиксированные затраты, долл. США (разработка и т.п.)

Данное уравнение демонстрирует, как изменение массы конструкции влияет на совокупную стоимость реализации проекта. Для повышения точности расчетов в модель могут быть введены дополнительные корректирующие коэффициенты, учитывающие специфические свойства применяемых композитов и особенности технологического цикла, что позволит более адекватно оценить итоговые затраты.

В качестве иллюстрации работы модели рассмотрим гипотетический проект ракеты с массой конструкции 5000 кг. При коэффициенте затрат k = 10 000 долл. США на килограмм и фиксированных издержках B = 1 000 000 долл. США общая стоимость запуска составит

$$C = 10000 \times 5000 + 1000000 = 51000000 \text{ долл. США.}$$

Снижение массы конструкции за счет использования композитных материалов до 4500 приведет к значительному снижению стоимости

$$C = 10000 \cdot 4500 + 1000000 = 46500000 \text{ долл. США.}$$

Представленный расчет подтверждает критическую важность оптимизации массы при внедрении передовых технологий. Следует учитывать, что эволюция производственных процессов композитов способна существенно менять долгосрочную экономику запусков. Достоверное прогнозирование этих изменений формирует основу для устойчивого управления проектами.

Первоначальные вложения в композиты способны окупиться за счет экономии на запусках и роста грузоподъемности. Это стимулирует исследования в области переработки и адаптации таких материалов для аэрокосмических задач [4, 5]. Кроме того, их применение способствует экологической устойчивости за счет снижения углеродного следа, что становится все более значимым.

Таким образом, композиты открывают новые пути для снижения затрат на космическую технику, хотя их внедрение требует взвешенного экономического обоснования. Дальнейшие исследования в области моделирования, учитывающие специфику композитов, позволяют оптимизировать ресурсное планирование в рамках сложных научно-технических программ.

Список литературы

1 Матвеев, Ю.А. Оценка спроса на запуски малых космических аппаратов и его влияние на технический облик систем выведения [Электронный ресурс] / Ю.А. Матвеев, А.А. Позин, М.И. Юрченко // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2024. – № 9 (153). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sprosa-na-zapuski-malyh-kosmicheskih-apparatov-i-ego-vliyanie-na-tehnicheskiy-oblik-sistem-vyvedeniya (дата обращения: 28.01.2026).

2 Мохов, М.Ю. Цифровое моделирование и имитирование систем аэрокосмического производства с целью управления операционной эффективностью [Электронный ресурс] / М.Ю. Мохов, А.А. Кабанов, И.А. Федоров // Экономика космоса. – 2022. – № 1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoe-modelirovanie-i-imitirovanie-sistem-aerokosmicheskogo-proizvodstva-s-tselyu-upravleniya-operatsionnoy-effektivnostyu (дата обращения: 28.01.2026).

3 Питулько, С.Ю. Экономико-математическая модель и методика обеспечения экономической безопасности аэрокосмических проектов [Электронный ресурс] / С.Ю. Питулько // Научные исследования. – 2015. – № 1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomiko-matematicheskaya-model-i-metodika-obespecheniya-ekonomicheskoy-bezopasnosti-aerokosmicheskih-proektov (дата обращения: 28.01.2026).

4 Сафронов, М.В. Отечественный и зарубежный опыт реализации космических проектов [Электронный ресурс] / М.В. Сафронов, Е.С. Башурова, В.В.

Копытов, И.О. Шелковников // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2016. – № 6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-i-zarubezhnyy-opyt-realizatsii-kosmicheskih-proektov (дата обращения: 28.01.2026).

5 Ушакова Т.Е. Применение полимеров и композитов в космическом приборостроении [Электронный ресурс] / Т.Е. Ушакова // Вестник науки. – 2024. – № 5 (74). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-polimerov-i-kompozitov-v-kosmicheskom-priborostroenii (дата обращения: 28.01.2026).

ЭФФЕКТ МАГНУСА КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ: ОТ «ПРЫГАЮЩЕЙ БОМБЫ» К ПЕРСПЕКТИВНЫМ АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

[1]Еремина Д.О., Васильченко Ф.В., Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук, [2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

В период Второй мировой войны стремительное развитие военных технологий стало одним из ключевых факторов, определяющих ход боевых действий. Среди различных видов вооружения особое место заняли авиационные бомбы, способные наносить значительный ущерб стратегическим объектам. Одним из наиболее инновационных образцов такого оружия стала бомба, разработанная британским инженером Барнсом Уоллесом для разрушения защищенных сооружений противника.

Рисунок 10 – «Прыгающая» бомба

Конструктивно бомба представляла собой массивный гладкий цилиндр, заполненный взрывчатым веществом и оснащенный гидростатическим взрывателем. Уникальность её применения заключалась в особой методике сброса: перед выпуском из самолета бомбе придавалось обратное вращение относительно направления полета. Благодаря этому при ударе о водную поверхность она не погружалась в воду сразу, а совершала серию рикошетов, продвигаясь к цели. Достигнув преграды, она погружалась на глубину, где под действием давления воды срабатывал взрыватель.

Ключевым элементов, обеспечивающим стабильность траектории, стал гироскопический эффект, возникающий за счет вращения. Он позволял сохранять ориентацию снаряда в пространстве, что значительно повышало точность поражения. Для реализации возможности рикошета ученый использовал аэродинамическое явление, известное как эффект Магнуса [4, 5]. Данный эффект заключается в возникновении подъемной силы при обтекании вращающегося тела набегающим потоком среды.

Эффект был описан немецким ученым Генрихом Магнусом в середине 19 века при исследовании баллистики артиллерийских снарядов [3]. Механизм его действия можно проиллюстрировать на примере цилиндра, вращающегося в воздушном потоке. Вращение увлекает прилегающие слои воздуха, создавая разность давлений по разные стороны объекта. Согласно третьему закону Ньютона, это приводит к возникновению силы, направленной перпендикулярно потоку. Её вертикальная составляющая и является подъемной силой.

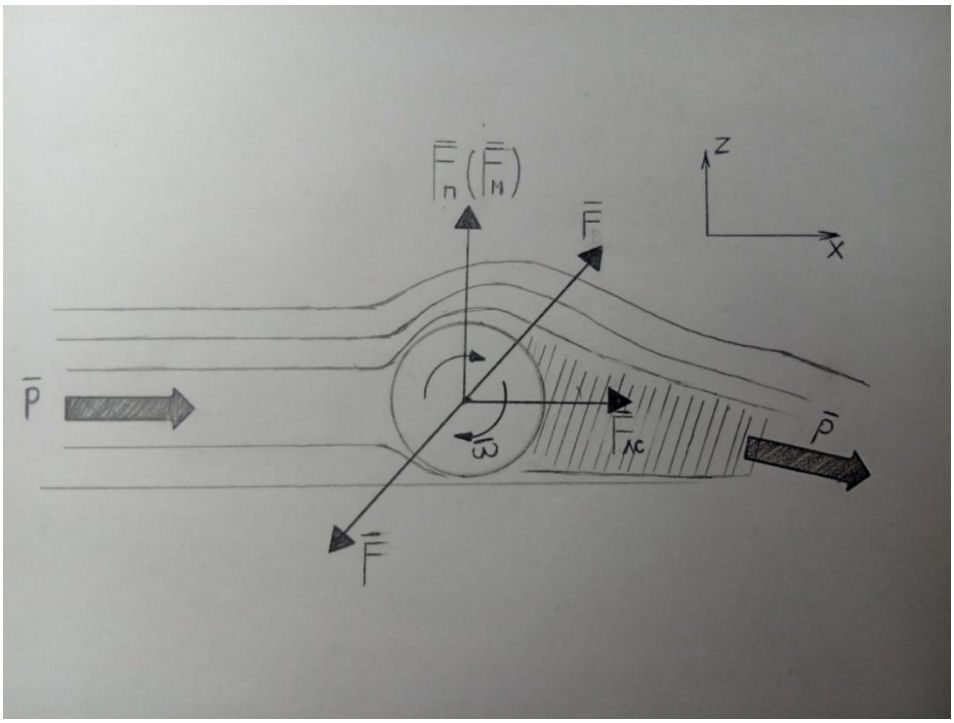


Рисунок 11 – Движение вращающегося цилиндра в набегающем потоке воздуха

Теоретическую основу для расчета данного эффекта заложил русский ученый Н. Е. Жуковский [1, 2]. Выведенная им формула для подъемной силы на единицу длины тела имеет вид

$$L = \rho * V * G\ , \qquad (1)$$

где ρ – плотность среды $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$; V – скорость потока $\left(\frac{м}{с}\right)$; G – сила вихря.

Сила вихря вычисляется по следующей формуле

$$G = 2 * \pi * R^2 * \omega\,, \qquad (2)$$

где R – радиус основания цилиндра (м); ω – угловая скорость вращения цилиндра ($\frac{\text{рад}}{\text{с}}$).

При переходе бомбы из воздушной среды в водную решающую роль играет резкое увеличение плотности. Плотность морской воды и воздуха отличается почти в 800 раз. Как следует из формулы Жуковского, во столько же раз возрастает и подъёмная сила Магнуса при контакте с водой. Этот скачок и обеспечивает мощный выброс бомбы после первого касания, запуская цикл последовательных рикошетов.

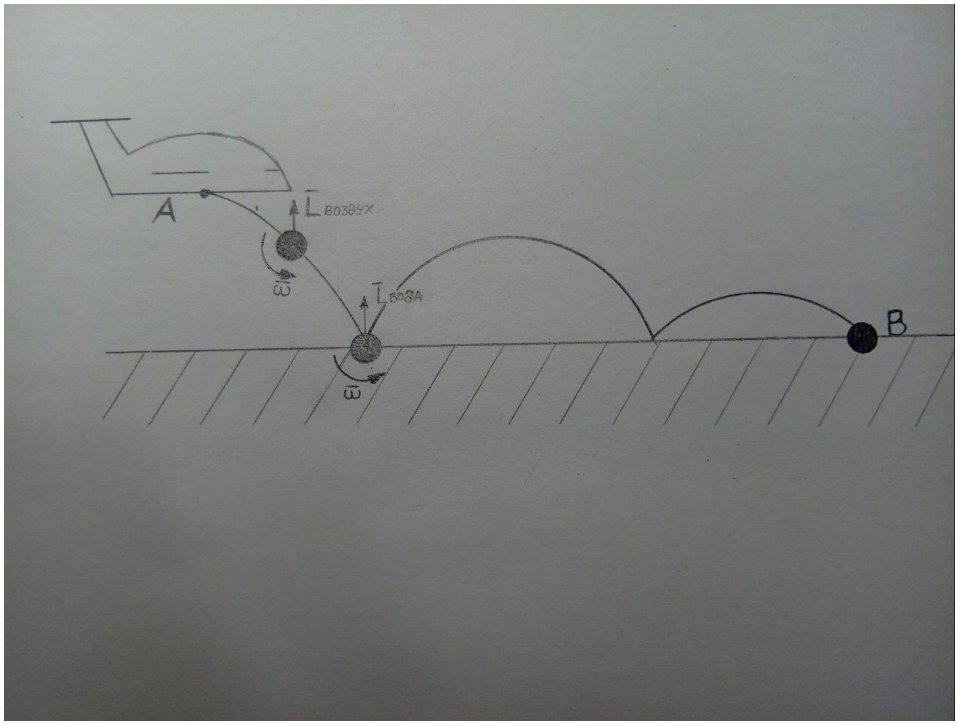


Рисунок 12 – Доставка «прыгающей» бомбы к цели

Таким образом, инженерное решение Барнса Уоллеса удачно сочеталось с фундаментальными физическими принципами. Гироскопическая стабилизация обеспечивала точность курса, а эффект Магнуса – уникальную прыгающую траекторию, позволяющую преодолевать сети заграждений и поражать подводную часть сооружений. Данный пример демонстрирует, как глубокое понимание теоретической механики и аэродинамики может привести к созданию высокоэффективного оружия.

В современных условиях аналогичный принцип мог бы найти применение, например, для доставки спасательных грузов или специального оборудования в труднодоступные зоны с воздуха, где требуется контролируемое рикошетирование от водной поверхности для достижения цели.

Список литературы

1 Бычков, Н.М. Аэродинамические характеристики кругового цилиндра в поперечном потоке / Н.М. Бычков, В.М. Коваленко // Известия СО АН СССР. Серия технических наук. – 1980. – № 8, вып. 2. – С. 114–124.

2 Короткин А.И. О трехмерном характере поперечного обтекания кругового цилиндра [Электронный ресурс] / А.И. Короткин // Ученые записки ЦАГИ. – 1973. – № 5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-trehmernom-haraktere-poperechnogo-obtekaniya-krugovogo-tsilindra (дата обращения: 28.01.2026).

3 Морозов, В.И. Влияние сил Магнуса на полет управляемого артиллерийского снаряда [Электронный ресурс] / В.И. Морозов, Т.С. Долгова, С.И. Акулинин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – № 11-1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sil-magnusa-na-polet-upravlyaemogo-artilleriyskogo-snaryada (дата обращения: 28.01.2026).

4 Прандтль, Л. Эффект Магнуса и ветряной корабль / Л. Прандтль // Успехи физических наук. – 1925. – Т. 5, вып. 1. – С. 1–27.

5 Эффект Магнуса [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум: материалы IV Международной студенческой научной конференции. – URL: https://scienceforum.ru/2012/article/2012002201 (дата обращения: 28.01.2026).

АКТУАЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

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

Производство электронной аппаратуры, основой которой являются печатные платы (ПП), важно для компаний, стремящихся укрепить свои позиции на рынке микроэлектроники. Для достижения лидерства необходимо не только обладать современной материально-технической базой, но и обеспечивать высочайший уровень качества, уменьшение габаритов и повышение надежности выпускаемой продукции. Надежность конечного изделия напрямую зависит от безупречности процесса сборки, где малейший дефект пайки или позиционирования компонента может привести к выходу из строя всей системы. В связи с этим контроль качества осуществляется на каждом этапе сборки (от нанесения паяльной пасты и установки компонентов до финальной инспекции собранного модуля).

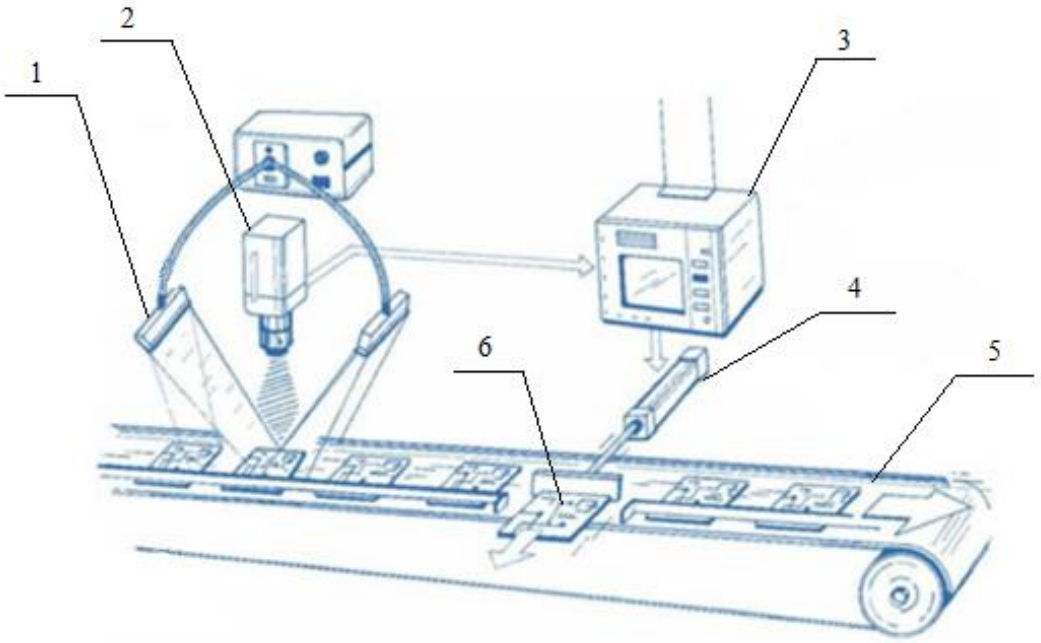
Кроме того, технологическая эволюция в микроэлектронике связана с повсеместным внедрением цифровых двойников, интернета вещей (IoT), систем машинного зрения [1] и предиктивной аналитики (анализом ситуации на производстве и на основе полученных данных, автоматическое составление алгоритма действий на производстве в реальном времени). Эти технологии трансформируют процессы сборки, делая их интеллектуальными, практически независимыми от человека и способными к самооптимизации в реальном времени.

На современном рынке существуют высокоавтоматизированные Surface Mount Technology (SMT) – линии, позволяющие осуществлять скоростной монтаж компонентов, что значительно оптимизирует рабочий процесс и повышает производительность [2]. Решения по созданию полностью интегрированных и гибких автоматизированных комплексов, охватывающих весь цикл: проектирование, подготовка производства, монтаж, контроль, адаптивная коррекция, принимаются не только из-за увеличения скорости производства, но и из-за повышения гибкости производства (быстрой переналадки), минимизации производственного брака и оптимизации использования материалов.

Под оптимизацией подразумевается интеллектуальная система, которая на основе цифровой модели изделия (CAD) и производственных правил (базы знаний) автоматически формирует оптимальную программу для монтажного оборудования, рассчитывает траектории, минимизирует отходы материалов (например, припаечной пасты, компаунда) и гарантирует уменьшение дефектов по сравнению с ручным монтажом за счет замкнутого контура контроля [3]. Если в процессе автоматизированной оптической инспекции (AOI) выявляется систематический дефект (например, смещение компонентов определенного типа), система в автоматическом режиме вносит коррективы в программу монтажной

головки для его устранения и плата с дефектом направляется на другую конвейерную линию для исправления брака. Пример работы такой адаптивной системы, интегрированной в CAD-среду, представлен на рисунке 1.

Высокая скорость и гибкость автоматизированной сборки позволяют в кратчайшие сроки развернуть производство новой модификации платы, оперативно получить опытный образец для согласования с заказчиком или выйти на серийный выпуск с гарантированно высоким процентом выхода годной продукции.



1 – освещение, 2 – камера машинного зрения, 3 – библиотека обработки изображения на основе CAD-модели, 4 – поршнь, 5 – конвейерная линия, 6 – объект (в данном случае – печатная плата).

Рисунок 1 – Пример интеграции системы AOI с CAD-средой для адаптивной коррекции монтажа

Для пользователя (инженера-технолога) автоматизированного комплекса предусматривается ввод базовых данных: файлов Gerber (формат файла, который используется для описания проектов печатных плат, содержит необходимые данные для производителя печатных плат, включая медные слои, паяльную маску, размещение компонентов и шелкографию) и BOM (перечень элементов), а также задание производственных ограничений. Система, используя базу инженерных знаний (правила Design for Manufacturability (DFM)), автоматически предложит оптимальный технологический маршрут, план расположения компонентов с учетом тепловых режимов и требований электромагнитной совместимости. Таким немаловажным фактором при проектировании трассировки и сборке является тепловой режим. Нередко из-за недостаточного опыта проектировщик или технолог неверно оценивает тепловыделение компонентов, что впоследствии, из-за перегрева, может привести к деградации параметров или

выходу из строя критических элементов [4]. Интеллектуальная система производит предварительный тепловой анализ, рекомендует места для установки радиаторов или термопрокладок, а также оптимизирует расположение компонентов для обеспечения естественной конвекции [5]. Таким образом, система нивелирует типовые риски, ведущие к снижению надежности. В автоматизированном режиме, после получения исходных данных, система формирует управляющие программы для всей линии, создает 3D-модель собранного модуля и полный пакет технологической документации. Структурная схема работы автоматизированного комплекса представлена на рисунке 2. Пример 3D-модели печатного узла, сгенерированной автоматически, представлен на рисунке 3.

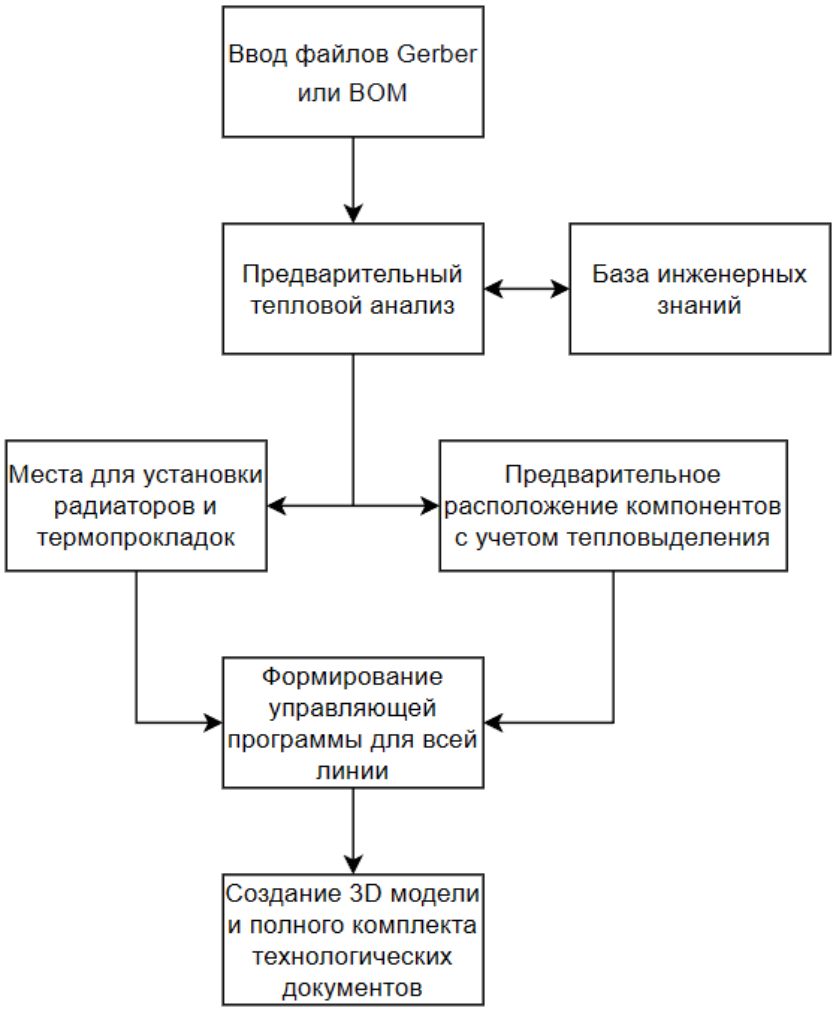


Рисунок 2 – Структурная схема работы автоматизированного комплекса

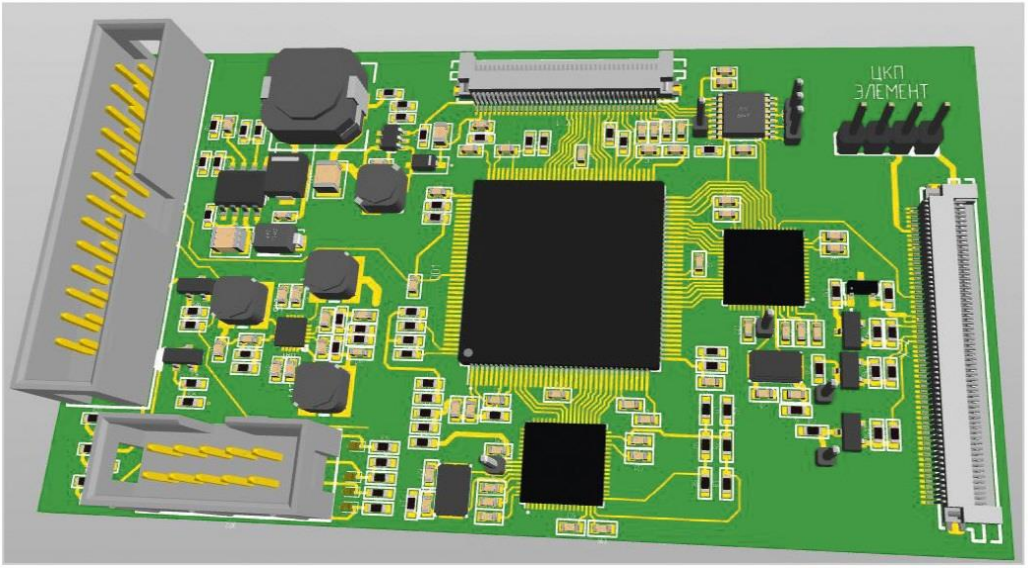


Рисунок 3 – 3D-модель печатного узла, сформированная в автоматизированном комплексе [6]

После прохождения всего цикла автоматизированной сборки и контроля, готовый печатный узел примет вид, представленный на рисунке 4.

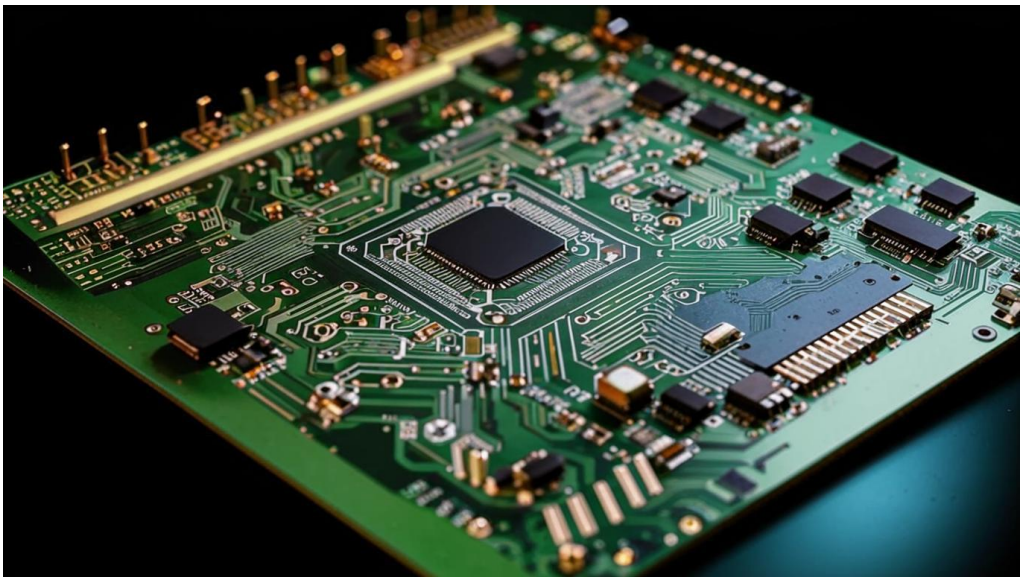


Рисунок 4 – Готовый печатный узел, собранный на автоматизированной линии [7]

Таким образом, печатная плата, спроектированная и собранная с использованием автоматизированной системы на основе инженерных знаний, не только не будет уступать в надежности аналогам, созданным традиционными методами, но и будет обладать рядом преимуществ: высоким качеством, минимальными временными затратами на подготовку производства и высокой степенью адаптивности к изменениям.

Развитие интеллектуальной автоматизации процесса сборки печатных плат на основе интеграции инженерных знаний (DFM, анализ тепловых режимов, ЭМС) и адаптивных систем контроля является неотъемлемым условием для создания конкурентоспособной, высоконадежной и инновационной электронной продукции. Актуальность данной темы определяется необходимостью соответствия требованиям современного рынка: сокращению времени вывода изделия на рынок, обеспечению «права с первого раза» (Right-First-Time) и повышению гибкости производства в условиях производства единичных изделий и кастомизации, что делает исследования и внедрение соответствующих интегрированных решений перспективными.

Список литературы

1 Ахлюстина, В. В. Система технического зрения (СТЗ) автоматизированного производства / В. В. Ахлюстина, Э. Р. Логунова // Дни науки ОТИ НИЯУ МИФИ – 2020 : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф., к 75-летию атомной отрасли. В рамках науч. сессии НИЯУ МИФИ – 2020. – Озерск, 2020. – С. 118–119.

2 Ланина, Э. П. Современные технологии производства интегральных схем / Э. П. Ланина. – Старый Оскол : Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова, 2019. – 234 с.

3 Зипунников, В. Автоматические системы оптического тестирования незапаянных печатных плат фирмы Lloyd Doyle / В. Зипунников, В. Кудрявцев // Компоненты и технологии. – 2004. – № 8. – С. 126–128.

4 Рыбаков, И. М. Алгоритм исследования теплового режима печатной платы / И. М. Рыбаков // Надежность и качество: труды Международного симпозиума: в 2 т. – Пенза, 2017. – Т. 2. – С. 151–153.

5 Мысловский, Э. В. Статистический контроль качества сборки РЭА / Э. В. Мысловский, К. Б. Лукин. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 192 с.

6 Воруничев, Д. Типовой интегрированный маршрут проектирования 3D-принтера в отечественном PLM-комплексе [Электронный ресурс] / Д. Воруничев // Союз разработчиков электронных компонентов и модулей (СоЭЛ). – 2023. – 10 окт. – URL: https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-8/169789/ (дата обращения: 21.01.2026).

7 Рекомендации по оптимизации печатных плат [Электронный ресурс] // Электронные компоненты. – 2024. – 22 нояб. – URL: https://components.ru/news/proektirovanie-vyisokoskorostnyih-pechatnyih-plat/&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera/ (дата обращения: 12.01.2026).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ КАРТ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жумашева Б.К., Акимов С.С., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В условиях глобальной конкуренции и растущих требований к кастомизации продукции, современные предприятия вынуждены непрерывно оптимизировать свои производственные процессы. Ключевой задачей становится устранение потерь (муда) и повышение операционной эффективности. Карта потока создания ценностей (КПСЦ) является фундаментальным инструментом бережливого производства (Lean), позволяющим визуализировать поток материалов и информации от поставщика к потребителю. Однако классическая КПСЦ, будучи мощным инструментом качественного анализа, часто обладает ограниченными возможностями для прогнозного моделирования и количественной оценки сложных динамических эффектов [1].

В связи с этим возникает необходимость в расширении возможностей методов визуализации и анализа, включающем автоматическое создание имитационных моделей и динамическое отслеживание изменений во времени. Использование современных информационных технологий позволяет не только более точно идентифицировать узкие места, но и создавать прогнозные сценарии, что существенно повышает эффективность принятия управленческих решений и способствует сокращению времени реакции на изменения внешней и внутренней среды предприятия. Такой подход помогает интегрировать качественный анализ с количественным моделированием, обеспечивая более глубокое понимание процессов и улучшая показатели производства на стратегическом уровне.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от статичного описания процессов к их динамическому математическому моделированию, что позволяет не только фиксировать текущее состояние, но и симулировать последствия изменений, выявлять скрытые узкие места и оптимизировать систему в целом. В научной литературе (работы Ротера, Хука, Дугласа) хорошо освещены основы VSM. Вместе с тем, прослеживается тренд к интеграции VSM с методами дискретно-событийного моделирования, теории массового обслуживания и системного анализа. Данное исследование фокусируется на применении аппарата дифференциальных уравнений и вероятностных распределений для создания более точных и прогностических моделей, дополняющих традиционные карты потока [2].

Карта потока создания ценностей представляет собой схему, отображающую все этапы производственного процесса, а также потоки материалов и ин-

формации, протекающие внутри системы. В ней отражаются такие ключевые показатели, как время цикла – время, необходимое для выполнения одного полного цикла операции; время операционного цикла – суммарное время, затрачиваемое на выполнение всех операций внутри процесса; время ожидания – периоды простоя или задержек между этапами; процент брака – доля дефектной продукции по сравнению с общим объемом; и уровень незавершенного производства – количество продукции, находящейся в процессе на любом этапе производства [3]. Структурно карта включает потоки материала и информации, инвентарь (запасы на складах и в процессе), данные о конкретных процессах и их временные параметры, а также линию времени, которая помогает визуализировать последовательность и взаимосвязи между различными этапами, выявлять узкие места и возможности для оптимизации. Такой инструмент способствует прозрачности процессов, пониманию их динамики и служит основой для дальнейшего улучшения производственной системы [4].

Математическое моделирование процесса производства на основе систем дифференциальных уравнений позволяет описать изменение ключевых параметров системы во времени. Использование вероятностных распределений (например, экспоненциального, нормального или Эрланга) для времени цикла и времени наладки позволяет учесть стохастическую природу производственных процессов, что критически важно для оценки реальной пропускной способности и времени выполнения заказа.

Существует прямая взаимосвязь между математическими моделями и циклограммами (ленточными диаграммами) работы оборудования. Циклограмма, отображающая состояния оборудования (работа, переналадка, простой) во времени, является визуальным представлением реализации стохастических процессов, смоделированных математически. Аналитически рассчитанные ключевые показатели эффективности (KPI), такие как среднее время цикла, коэффициент использования оборудования (OEE), фактическая пропускная способность и её экстремальные значения (максимум/минимум при изменяющихся условиях), становятся количественным фундаментом для оценки эффективности потока, изображенного на КПСЦ [5].

Построение циклограмм начинается со сбора данных о временных интервалах работы, переналадки и простоя оборудования. Эти данные подвергаются статистическому анализу для определения законов распределения. На основе этих распределений строится имитационная модель (например, с использованием дискретно-событийного подхода), которая генерирует синтетические циклограммы, отражающие поведение системы в долгосрочной перспективе.

Интеграция циклограмм с математическими моделями является ключевым шагом. Модель, параметризованная данными с циклограмм, позволяет:

– оценить общее время выполнения заказа, складывающееся из операционного времени и времени ожидания в очередях;

– количественно оценить потери, вызванные нестабильностью процессов, простоями и дисбалансом линий;

– точно идентифицировать узкие места не как статичные элементы, а как динамические явления, зависящие от загрузки и вариативности. Это позволяет смоделировать эффект «дрейфа» узкого места при изменении условий.

Для практического использования комплексного подхода, объединяющего КПСЦ, математические модели и циклограммы, необходима специализированная СППР. Требования к её функционалу включают:

1. Интеграцию данных возможность импорта данных из ERP/MES-систем и ручного ввода параметров VSM.

2. Моделирующее ядро компонент для построения стохастических имитационных моделей на основе введенных данных и расчетов по дифференциальным уравнениям.

3. Визуализацию автоматическое построение и наложение цифрового двойника VSM, циклограмм, графиков изменения WIP и других KPI в динамике.

4. Аналитический модуль инструменты для сценарного анализа («что, если?»), автоматического выявления узких мест и рекомендаций по оптимизации (например, изменение приоритетов, оптимизация размера партии, необходимость в дополнительных ресурсах).

5. Генерацию отчетов формирование сравнительных отчетов по различным сценариям работы производства [6].

Проведенное исследование демонстрирует, что интеграция классического инструмента VSM с методами математического моделирования на основе дифференциальных уравнений и теории вероятностей позволяет перейти от описательного анализа производственных процессов к их прогнозной оптимизации. Использование циклограмм, обогащенных данными стохастических моделей, дает точное количественное представление о динамике системы, позволяя оценивать потери и узкие места в их временном развитии.

Основным выводом является обоснование необходимости создания комплексной СППР, которая реализует данный синтез методологий. Перспективы дальнейших разработок лежат в области углубления интеграции с системами реального времени (IoT), применения методов машинного обучения для более точного предсказания параметров процессов и автоматизированного поиска оптимальных конфигураций производственного потока, создавая тем самым основу для интеллектуальных и адаптивных производственных систем.

Список литературы

1 Акимов, С. С. Построение карт потока создания ценности на основе онтологического подхода / С. С. Акимов, Б. К. Жумашева // Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12, № 3(45). – С. 405-417.

2 Жумашева, Б. К. Развитие и применение карт потока создания ценностей / Б. К. Жумашева, С. С. Акимов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 44. – С. 118-150.

3 Жумашева, Б. К. Анализ технологических маршрутов на основе проектирования карт потока создания ценности / Б. К. Жумашева, А. И. Сердюк, С. С. Акимов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : сборник материалов X Всероссийской конференции, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 102-105.

4 Жумашева, Б. К. Проблема оценки значений карты потока создания ценности / Б. К. Жумашева, С. С. Акимов // 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. 189-192.

5 Трипкош, В. А. Синтез структуры системы распознавания производственных ситуаций в бережливом производстве / В. А. Трипкош, С. С. Акимов // Современные наукоемкие технологии. – 2025. – № 3. – С. 53-58.

6 Акимов, С. С. Оптимизация производственных потоков на основе алгоритма распознавания производственных ситуаций / С. С. Акимов, В. А. Трипкош // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 5-1. – С. 10-15.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

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

Газоперекачивающий аппарат (ГПА) – это устройство, предназначенное для перекачивания природного газа по магистральным газопроводам с целью его транспортировки на большие расстояния. ГПА представляет собой сложный технический комплекс, включающий компрессор, привод (газотурбинный или электрический), системы маслоснабжения, охлаждения, топливоснабжения, пуска, управления и защиты. Все указанные подсистемы должны функционировать согласованно, что обеспечивается за счёт автоматизированных систем управления. В зависимости от типа используемого компрессора и характеристик работы, газоперекачивающие аппараты можно классифицировать по нескольким признакам.

Тип компрессора – ГПА могут быть турбокомпрессорными, поршневыми, винтовыми и центробежными. Турбокомпрессоры наиболее часто используются в газотранспортных системах благодаря своей высокой производительности и экономичности при транспортировке больших объемов газа.

Тип двигателя – ГПА могут использовать газовые турбины, электродвигатели или внутренние сгорания для приведения в движение компрессора

Газоперекачивающие аппараты классифицируются по мощности в зависимости от объема перекачиваемого газа. Мощные ГПА применяются для межконтинентальных газопроводов, а маломощные – для локальных систем [1].

Современные магистральные газопроводы характеризуются протяжённостью в тысячи километров и сложными условиями эксплуатации. В этих условиях ручное управление технологическими процессами становится неэффективным и потенциально опасным. Автоматизация позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, повысить безопасность и обеспечить устойчивость режимов работы оборудования.

В зависимости от типа привода различают газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным и электрическим приводом. Газотурбинные агрегаты получили наибольшее распространение благодаря высокой мощности, автономности и возможности эксплуатации в удалённых районах. Агрегаты с электрическим приводом имеют более высокий коэффициент полезного действия и отличаются экологичностью.

Основными технологическими параметрами, подлежащими автоматическому контролю и регулированию, являются давление газа на входе и выходе компрессора, температура газа, расход, частота вращения роторов, вибрация подшипников, давление и температура масла. Контроль указанных параметров позволяет поддерживать оптимальные режимы работы агрегата.

Автоматизация газоперекачивающего агрегата направлена на решение следующих задач: автоматический пуск и остановка агрегата, регулирование производительности, защита оборудования от аварийных режимов, диагностика технического состояния и сбор технологической информации.

Автоматизированная система управления газоперекачивающим агрегатом, как правило, строится по иерархическому принципу и включает первичный уровень (датчики и исполнительные механизмы), уровень управления (программируемые логические контроллеры) и верхний уровень (SCADA-система) [2-3].

Программируемые логические контроллеры обеспечивают обработку сигналов от датчиков, выполнение алгоритмов регулирования и формирование управляющих воздействий. SCADA-система предназначена для визуализации технологического процесса, архивирования данных и обеспечения взаимодействия оператора с системой.

Особое значение в системе автоматизации ГПА имеют системы противоаварийной защиты. Они предназначены для автоматического отключения агрегата при превышении допустимых значений параметров, таких как вибрация, температура подшипников, давление масла и газа.

Важной функцией автоматизации является защита компрессора, предотвращающая его работу в неустойчивых режимах. Реализация антипомпажного регулирования позволяет повысить надёжность оборудования и продлить срок его службы.

Современные системы автоматизации включают функции диагностики и мониторинга технического состояния оборудования. Анализ вибрационных, температурных и других параметров позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях и переходить к обслуживанию по фактическому состоянию.

Интеграция газоперекачивающих агрегатов в единую автоматизированную систему управления компрессорной станции обеспечивает централизованный контроль и управление несколькими агрегатами, повышая эффективность эксплуатации и снижая затраты на обслуживание [3-4].

Дополнительным направлением развития автоматизации газоперекачивающих агрегатов является совершенствование алгоритмов регулирования и адаптация систем управления к изменяющимся режимам работы. При эксплуатации магистральных газопроводов параметры транспортируемого газа и нагрузка на агрегаты могут существенно изменяться в зависимости от сезонных факторов, режимов отбора и состояния оборудования. В этих условиях применение фиксированных законов регулирования не всегда обеспечивает оптимальные показатели работы, что обуславливает необходимость использования комбинированных и адаптивных систем управления.

В работах, посвящённых автоматизации электроприводных газоперекачивающих агрегатов, отмечается целесообразность применения многоконтурных систем регулирования, обеспечивающих согласованную работу контуров давления, расхода и частоты вращения привода. Такой подход позволяет повысить устойчивость работы агрегата и снизить динамические нагрузки на элементы

компрессора и привода. Использование математических моделей газоперекачивающего агрегата в составе системы управления способствует более точному прогнозированию поведения объекта и повышению качества регулирования.

Существенное значение имеет автоматизация вспомогательных систем газоперекачивающего агрегата, в частности систем маслоснабжения и охлаждения. Надёжность работы подшипников и узлов трения напрямую зависит от стабильности параметров масла, таких как давление и температура. Автоматизированное управление системами охлаждения масла позволяет поддерживать заданные режимы при изменяющихся внешних условиях и нагрузках, а также снижать энергозатраты за счёт оптимизации работы вентиляторов и теплообменников [5].

В современных системах автоматизации всё более широкое применение находят средства технической диагностики, интегрированные в систему управления агрегатом. Анализ параметров вибрации, температуры и давления в режиме реального времени позволяет выявлять отклонения от нормального состояния и формировать диагностические признаки возможных неисправностей. Это создаёт предпосылки для перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по техническому состоянию, что повышает экономическую эффективность эксплуатации газоперекачивающих агрегатов.

Автоматизация также играет важную роль при оценке эффективности работы газоперекачивающих агрегатов. Сбор и обработка технологических данных позволяют анализировать энергетические показатели, удельный расход топлива или электроэнергии, а также выявлять резервы повышения производительности. Использование автоматизированных систем учёта и анализа способствует обоснованному выбору режимов работы и повышению общей эффективности компрессорных станций.

Отдельное внимание в автоматизированных системах управления газоперекачивающими агрегатами уделяется вопросам надёжности и резервирования технических средств. Отказ датчиков, исполнительных механизмов или элементов вычислительной техники может привести к нарушению технологического режима или остановке агрегата. В связи с этим в составе АСУ ТП применяются дублированные каналы измерения, резервные контроллеры и независимые цепи противоаварийной защиты. Такой подход позволяет обеспечить сохранение управляемости агрегата при возникновении отказов и соответствует требованиям, предъявляемым к эксплуатации оборудования магистральных газопроводов.

Таким образом, автоматизация газоперекачивающих агрегатов является необходимым условием повышения надёжности, безопасности и экономической эффективности магистральных газопроводов. Применение современных АСУ ТП позволяет обеспечить устойчивое функционирование газотранспортной системы в целом.

Список литературы

1 Галиуллин, З.Т. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты нового поколения / З.Т. Галиуллин, В.А. Щуровский. – М.: РАО Газпром, 1996. – 369 с.

2 Егоров, М.А. Автоматизация систем охлаждения масла газоперекачивающих агрегатов / М.А. Егоров, С.В. Щербинин // Вестник Уфимского государственного технического университета. – 2012. – № 4(92). – С. 114-117.

3 Крюков, О.В. Комбинированные системы автоматического управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами/ О.В. Крюков, Н.Н. Иванова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2017. – № 3.

4 Огнев, В.В. Моделирование газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов: учебное пособие. / В.В. Огнев. – СПбГТУ, 2001. – 2021.

5 Житомирский, Б.Л. К вопросу об оценке эффективности применения газоперекачивающих агрегатов / Б.Л. Житомирский, Т.В. Игнатова, Д.М. Ляпичев // Труды РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. – 2022. – № 4(309). – С.104–116.

КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ: ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Захватов Д.М., Максюков С.В., Юршев В.И., канд. техн. наук, доцент, Кириленко А.С., канд. техн. наук, Ханин В.П., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Развитие технологий формования порошковых материалов связано с постоянным поиском компромисса между качеством получаемых заготовок и экономической эффективностью производства. Если изостатическое прессование (ИП) долгое время считалось эталоном по равномерности распределения плотности, то его высокая стоимость и низкая производительность стимулировали разработку альтернативных методов. Квазиизостатическое прессование (КИП), появившееся как альтернатива, сохраняет преимущества объемного сжатия, но реализуется на принципиально ином оборудовании. На основе анализа современных исследований и патентных разработок проведено сравнение рассматриваемых методов.

Рассмотрим физико-механические основы распределения давления.

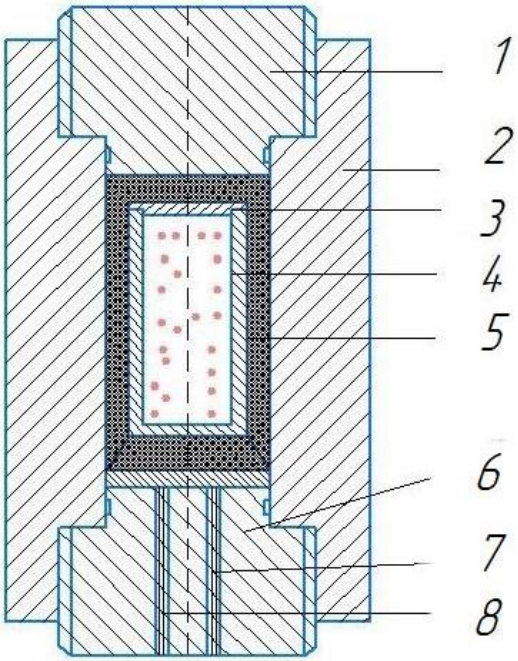
Классическое изостатическое прессование основывается на фундаментальном законе гидростатики – законе Паскаля. Порошок, помещенный в герметичную эластичную оболочку, подвергается всестороннему равномерному давлению через жидкую или газообразную среду в автоклаве высокого давления (рисунок 1). Такое воздействие создает в консолидируемом материале напряженное состояние, близкое к идеальному гидростатическому сжатию, что описывается уравнением:

$$\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=P\ , \qquad (1)$$

где σ_1, σ_2, σ_3 – главные напряжения; P – давление в автоклаве.

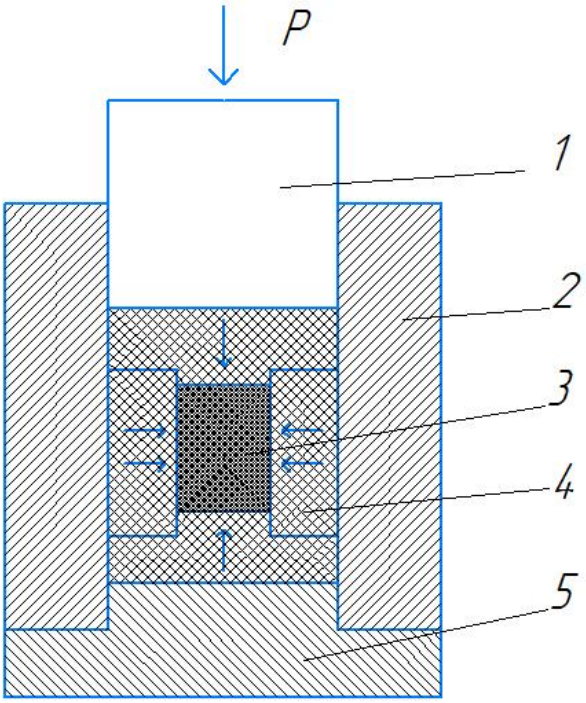
Этот принцип обеспечивает минимальные градиенты плотности и практически полное отсутствие направленной текстуры в прессовке, что особенно критично для крупногабаритных изделий и материалов с высокой хрупкостью [2, 6]. Однако необходимость создания и поддержания высокого давления во всем объеме автоклава приводит к значительным энергозатратам и ограничениям по производительности.

Квазиизостатический метод реализует принцип опосредованного объемного сжатия через деформируемый эластичный элемент. В процессе прессования эластомер, находящийся под осевой нагрузкой от пуансона, претерпевает сложную деформацию сжатия и сдвига (рисунок 2).



1 – верхний затвор; 2 – сосуд высокого давления; 3 – жидкость высокого давления; 4 – упругая форма; 5 – прессуемый порошок; 6 – перфорированная корзина; 7 – нижний затвор; 8 – подвод высокого давления; 9 – отвод жидкости.

Рисунок 1 – Схема изостатического прессования [2]



1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – порошок цилиндрической формы; 4 – эластомер; 5 – основание.

Рисунок 2 – Схема цилиндрического пресса для квазиизостатического прессования [3]

Физическую основу процесса можно описать через теорию больших деформаций упругих сред. При сжатии практически несжимаемого эластомера ($\nu \approx 0.5 \nu \approx 0.5$) возникает значительное радиальное напряжение, передаваемое на порошковую массу. Распределение давления в системе «эластомер-порошок» описывается модифицированным уравнением:

$$P_{бок} = \lambda \cdot Pос + \eta(\varepsilon, \mu) , \quad (2)$$

где λ – коэффициент бокового давления, зависящий от свойств эластомера; η – корректирующая функция, учитывающая степень деформации ε и коэффициент трения μ на границе раздела [5].

Исследования Тимоховой М.И. показали, что неравномерность распределения давления в КИП по сравнению с ИП не превышает 10 % – 15 % для большинства геометрических конфигураций, при этом энергетические затраты на уплотнение снижаются на 30 % – 40 % [5].

Основное отличие методов лежит в технологической реализации. Для ИП требуются специализированные автоклавы высокого давления (до 600 МПа и более) со сложными системами герметизации, подачи и отвода рабочей среды. Цикл прессования включает длительные операции загрузки, прогрева (для ГИП), выдержки и разгрузки, что ограничивает производительность [2, 6].

КИП осуществляется на стандартных гидравлических прессах с усилием 10-100 МН, что существенно снижает капитальные затраты. Конструкция пресс-форм для КИП отличается повышенной компактностью. Как отмечается в работах [4], для прессования кольца диаметром 250 мм и высотой 70 мм высота пресс-формы КИП составляет около 210 мм, в то время как для одноосного прессования аналогичного изделия потребовалась бы форма высотой не менее 560 мм.

Рассмотрим материалы эластичных элементов и их влияние на процесс.

Ключевым элементом технологии КИП является эластичный прессующий элемент. Наиболее распространены полиуретаны на основе сложных полиэфиров, обладающие:

– высокой эластичностью (относительное удлинение до 500 %);

– минимальной остаточной деформацией (< 5 % после 1000 циклов);

– стойкостью к абразивному износу;

– стабильностью свойств в диапазоне температур от -30 °C до +80 °C;

– ресурс полиуретановых элементов составляет от 1000 до 5000 циклов в зависимости от твердости и условий эксплуатации. В последнее время исследуются композитные эластомеры с армирующими добавками (графит, дисульфид молибдена), позволяющие увеличить стойкость к истиранию на 25 % – 30 % [1, 4].

Сравнительные исследования микроструктуры заготовок, полученных разными методами, показывают:

– для ИП характерна изотропная структура с равномерным распределением пор размером 1-5 мкм;

– в изделиях КИП наблюдается незначительная анизотропия (соотношение прочностных характеристик в осевом и радиальном направлениях не превышает 1,15:1);

– концентрация дефектов типа «клин» или «расслоение» в КИП от 40 % до 50 % ниже, чем при одноосном прессовании, но на 10-15% выше, чем при ИП [5, 6].

КИП находит наибольшее применение в следующих отраслях:

– изготовление режущих пластин сложной геометрии, крупногабаритных штампов (экономия материала до 25 % по сравнению с механической обработкой);

– серийное производство шестерен, втулок, фильтров (себестоимость снижается на 30 % – 40 % по сравнению с ИП).

Примером успешного внедрения является производство вставок пресс-форм для литья алюминиевых сплавов. Использование КИП позволило формировать сложные системы внутренних каналов охлаждения в одной технологической операции, сократив механическую обработку на 60 % – 70 % [1].

Количественная оценка технико-экономических параметров подтверждает преимущества технологии КИП для серийного и массового производства деталей из порошковых материалов.

Организация производственной линии КИП требует капиталовложений, в 3–5 раз меньших, чем развертывание аналогичной по производительности линии ИП. Основное снижение затрат обусловлено:

– отказом от дорогостоящего автоклава высокого давления, сложных систем гидравлики/пневматики и обеспечения безопасности для работы под сверхвысоким давлением;

– использованием стандартных гидравлических прессов серийного производства;

– упрощением инфраструктуры: отсутствием необходимости в системах циркуляции и очистки большого объема рабочей жидкости (масла, воды) или в хранении и подаче инертных газов [2, 4].

Анализ себестоимости изготовления заготовок средних размеров (объемом 100–500 см³) демонстрирует ее снижение на 25 % – 35 % при применении КИП по сравнению с ИП. Экономия формируется за счет:

– энергоэффективности: энергия затрачивается непосредственно на деформацию порошка и эластомера, а не на создание и поддержание высокого давления во всем объеме крупногабаритного автоклава;

– производительности труда: резкое сокращение вспомогательного времени цикла; операции загрузки/выгрузки, смены оснастки в КИП аналогичны операциям на обычных прессах и занимают секунды/минуты, в то время как цикл ИП включает длительные операции герметизации, наполнения, выдержки, слива и вскрытия автоклава;

– расходных материалов: отсутствие затрат на одноразовые или многоразовые герметичные эластичные оболочки (пакеты), необходимые для ИП.

Удельная производительность технологической линии КИП, измеряемая по массе уплотненного порошка в единицу времени, в 4–6 раз превышает производительность линии ИП сопоставимой мощности. Показатель обусловлен высокой цикличностью процесса (типичный цикл КИП составляет 30–90 секунд), возможностью групповой загрузки нескольких изделий в одну пресс-форму и простотой автоматизации [1, 4].

Квазиизостатическое прессование представляет собой технологически и экономически эффективный метод объемного формования порошковых материалов. Сохраняя основные преимущества изостатического прессования по равномерности распределения плотности, КИП устраняет его ключевые недостатки – высокую стоимость оборудования и низкую производительность.

Физико-механические основы метода, основанные на преобразовании одноосного усилия в объемное сжатие через деформацию эластомера, обеспечивают воспроизводимое качество изделий сложной геометрии. Дальнейшее совершенствование технологии связано с оптимизацией материалов эластичных элементов, развитием методов компьютерного моделирования и расширением областей применения в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Список литературы

1 Бровко, С.В. Изготовление вставок пресс-форм методом квазиизостатического прессования / С.В. Бровко, А.К. Новиков, А.Н. Голубев // Ползуновский вестник. – 2005. – № 2. – С. 175-177.

2 Гиршов, В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии / В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменок. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 384 с.

3 Агеев, С.В. Горячее изостатическое прессование в порошковой металлургии / С.В. Агеев, В.Л. Гиршков // Металлообработка. – 2008. – № 6. – С. 56-60.

4 Тимохова, М.И. Конструктивные особенности пресс-форм квазиизостатического прессования / М.И. Тимохова // Новые огнеупоры. – 2006. – № 8. – С. 45-48.

5 Тимохова, М.И. Физические основы квазиизостатического прессования порошковых материалов / М.И. Тимохова // Новые огнеупоры. – 2009. – № 3. – С. 22-26.

6 Третьяков, В.И. Основы металловедения и технологии производства спечённых твёрдых сплавов / В.И. Третьяков. – М.: Металлургия, 1976. – 368 с.

7 Сумин, В.В. Исследование распределения давления в квазиизостатическом прессовании / В.В. Сумин, С.П. Петров // Порошковая металлургия. – 2015. – № 7/8. – С. 34-41.

8 Патент RU 2687894 C1. Способ квазиизостатического прессования порошковых материалов / А.А. Иванов, В.К. Смирнов; опубл. 16.05.2019.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГАЗОСБОРНОГО ПУНКТА

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

В настоящее время около 80 % первичных энергоносителей составляют углеводородные ресурсы, которые вовлекаются в народнохозяйственный оборот благодаря деятельности нефтяной и газовой отраслей. Под отраслью промышленности понимается совокупность предприятий и организаций, характеризующиеся общностью выполняемых функций в системе общественного разделения труда или производимой продукции. В соответствии с этим, нефтяная и газовая промышленность представляют собой совокупность хозяйствующих субъектов, обеспечивающих разведку, строительство скважин, добычу, транспортировку, переработку и реализацию нефти, газа и продуктов их переработки [1].

Система сбора и способы подготовки газа и газового конденсата должны решать вопросы строительства и эксплуатации на весь период разработки месторождения. Согласно СТО Газпром НТП 1.8-001-2204 «в соответствии с проектом разработки месторождения и исходя из общих требований правил, на газодобывающем предприятии (ГДП) могут предусматриваться две системы сбора сырого газа: децентрализованная и централизованная».

Также в источнике [2] указано, что «при централизованной системе сбора предварительная подготовка сырого газа должна предусматриваться на установке предварительной подготовки газа (УППГ), расположенных каждая на отдельной площадке, а окончательная на газосепараторе (ГС), имеющих свою самостоятельную площадку, причем ГС могут быть едиными для всего месторождения или для нескольких.

При децентрализованной системе сбора вся промысловая подготовка сырого газа должна предусматриваться на установке комплексной подготовки газа (УКПГ), каждая из которых имеет набор технологического оборудования, обеспечивающего подготовку газа к подаче в магистральный газопровод (МГ) или на газоперерабатывающий завод (ГПЗ). Для газоконденсатных месторождений на каждой УКПГ необходимо предусматривать строительство узлов предварительного разгазирования нестабильного конденсата и использование эжектирования выделяемого газа для его кондиционной подготовки за счет недорогой технологии перед подачей в МГ или ГПЗ» [2].

Газосборный пункт – комплекс сооружений, предназначенный для сбора и промысловой обработки (очистки и осушки) газа, поступающего от эксплуатационных скважин. Газовый сборный пункт обеспечивает подготовку к транспортированию газа в однофазном состоянии и углеводородного конденсата, а также измерение количества добываемой продукции.

Назначение газосборного пункта (ГСП) на промысле – обеспечение эффективного сбора, первичной сепарации, замера и подготовки газа с группы кустов скважин для транспортировки на установку комплексной подготовки газа (УКПГ). Это возможно только на основе интеграции технологических процессов сбора, подготовки и транспорта, согласования их режимов работы, правильной организации технологических потоков и эффективного управления параметрами.

Характер технологических процессов, осуществляемых на газовом сборном пункте, определяется системами сбора и промысловой обработки газа и конденсата. При централизованной системе, принятой для месторождений с годовым отбором до 20 млрд. $м^3$, на газовом сборном пункте производятся лишь сбор и первичная сепарация газа, а окончательная обработка газа и конденсата – на головных сооружениях промысла. Оборудование газового сборного пункта централизованной системы промысловой обработки газа включает: сепаратор первой ступени, предназначенный для отделения механических примесей и жидкой фазы, вынесенной из пласта и выделившейся при транспортировке газа от скважин до газового сборного пункта; запорно-регулирующую арматуру; воздушные (в случае, если температура газа превышает величину от 40 °С до 45 °С) или водяные холодильники и сепаратор второй ступени. При децентрализованной системе полная обработка газа и конденсата осуществляется на газовых сборных пунктах, которые оборудованы установками комплексной подготовки газа; технология обработки газа определяется запасом устьевого давления и содержанием тяжёлых углеводородов.

Технологический процесс на ГСП подразделяется на несколько ключевых стадий:

– сбор и прием газа по шлейфам с кустов скважин;

– сепарация газа от капельной жидкости и механических примесей;

– замер количества и параметров газа (давление, температура, расход);

– предварительная подготовка (например, низкотемпературная сепарация, подача ингибитора гидратообразования);

– компримирование (при необходимости) для транспорта на УКПГ.

Для автоматизации ГСП используются разнообразные технические средства:

– промышленные контроллеры (ПЛК) и удаленные терминальные блоки (RTU);

– «умные» полевые приборы с цифровыми интерфейсами (HART, Foundation Fieldbus);

– исполнительные механизмы с электроприводом;

– системы визуализации и диспетчеризации (SCADA).

Под автоматизацией газосборного пункта следует понимать создание комплекса технических и программных средств, способных обеспечить устойчивый, безопасный и экономичный технологический режим работы с минимальным вмешательством оператора, вплоть до реализации режима «безлюдного» пункта.

К системе автоматизации ГСП предъявляется комплекс требований:

– обеспечение заданных параметров товарного газа;

– обеспечение бесперебойного и безопасного сбора газа;

– минимизация потерь углеводородов;

– снижение энергозатрат (особенно на компримирование);

– исключение «человеческого фактора» как источника ошибок и аварий;

– своевременное предоставление достоверной информации для коммерческого учета и принятия управленческих решений [3].

В заключении следует отметить, что автоматизированные системы управления газосборными пунктами позволяют существенно повысить технологическую и экономическую эффективность добычи, особенно на удаленных и сложных месторождениях. Они минимизируют ручной труд, повышают безопасность, обеспечивают точный учет и создают основу для интеграции в единое цифровое пространство промысла, поскольку централизованная система контролирует состояние каждого технологического узла в реальном времени.

Список литературы

1 Дунаев, В.Ф. Экономика предприятий нефтяной и газовой промышленности : учебник / В.Ф. Дунаев, В.А. Шпаков, Н.П. Епифанов, В.Н. Лындин ; под ред. В.Ф. Дунаева. – Москва : ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. – 352 с.

2 СТО Газпром НТП 1.8-001-2004. Нормы технологического проектирования объектов газодобывающих предприятий и станций подземного хранения газа : стандарт организации ОАО «Газпром» : введ. 2004-07-01. – Москва : ОАО «Газпром», 2004. – С. 21 - 22.

3 Горная энциклопедия : в 5 т. / гл. ред. Е.А. Козловский ; ред. кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев [и др.]. – Москва : Советская энциклопедия, 1984–1991. – 259 с.

4 Исакович, Р.Я. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности : учебник для вузов / Р.Я. Исакович, В.И. Логинов, В.Е. Попадько. – Москва : Недра, 1983. – 424 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Калягин М.В., Аманжулов Д.Р., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В статье рассматриваются методы увеличения эффективности процесса очистки сточных вод. Основное внимание уделяется внедрению дополнительного оборудования в автоматизированную систему очистки сточных вод для контроля физико-химических параметров сточных вод, а именно применение контроллеров с датчиками ХПК (Химическая потребность в кислороде), датчиков контроля температуры иловой смеси, pH – метров для мониторинга кислотно-щелочного баланса среды.

Очистные сооружения отвечают за очистку сточных вод, прежде чем выпустить их в окружающую среду. Процесс включает в себя удаление загрязнений из воды и снижение уровня органических веществ. Эффективность процесса очистки зависит от эффективности очистных сооружений и качества очищаемой воды.

Для обеспечения и поддержания высокого качества очистки стоков биологическим методом, необходимо поддерживать на оптимальном уровне следующие факторы: значение температуры иловой смеси; достаточное содержание питательных веществ, постоянное аэрирование иловой смеси, обеспечивающее высокое содержание растворенного кислорода; значение pH в допустимых пределах.

Рассмотрим применение датчика ХПК при очистке сточных вод.

ХПК датчик – измеряет количество кислорода, необходимое для окисления органических и неорганических веществ в пробе воды. Датчики ХПК применяются на очистных сооружениях для контроля уровня органических загрязнителей в сточных водах. При высоком уровне ХПК в сточных водах, у микроорганизмов ухудшается потребление органических веществ, что приводит к накоплению загрязняющих веществ в воде. Органические вещества могут вызывать экологические проблемы, такие как этерификация, что может привести к истощению кислорода и насыщению биогенными элементами в водных экосистемах. Измеряя уровень ХПК, автоматизированная система очистных сооружений сможет определить количество органических веществ в сточных водах и соответствующим образом скорректировать процесс очистки.

Основным применением датчиков ХПК является оптимизация процесса аэрации. В процессе аэрации, воздух подается в сточные воды, чтобы обеспечить кислородом микроорганизмы, расщепляющие органические вещества. Мониторинг уровня ХПК позволяет автоматизированной системе регулировать процесс аэрации, чтобы обеспечить поступление достаточного количества кис-

лорода к микроорганизмам, что повышает эффективность процесса очистки сточных вод.

Также датчики ХПК можно использовать для контроля эффективности процесса очистки сточных вод. После очистки сточных вод, уровень ХПК измеряется еще раз, чтобы определить уровень удаленных органических веществ. При высоком уровне ХПК, автоматизированная система корректирует процесс очистки сточных вод. Мониторинг уровня ХПК до и после очистки, позволяет гарантировать эффективность процесса очистки при удалении органических веществ из сточных вод.

Датчик температуры играет важную роль в процессе очистки сточных вод. При помощи него контролируются тепловые характеристики сточной воды, которые влияют на химические реакции и микробную активность, что позволяет:

– регулировать процессы очистки в реальном времени. Например, в биореакторах температура влияет на скорость биохимических реакций, и показания датчиков помогают поддерживать оптимальные условия для протекания процесса;

– выявлять отклонения от нормы и корректировать технологический процесс.

Автоматические системы, оснащённые датчиками, способны выявлять аномалии на ранних стадиях и предотвращать аварийные ситуации.

PH–метры играют важную роль в процессе очистки сточных вод, так как измеряют уровень кислотности или щелочности среды, что помогает:

– контролировать биологические процессы на очистных сооружениях, где микроорганизмы используются для расщепления загрязняющих веществ. Оптимальный диапазон pH необходим для правильного функционирования этих процессов;

– предотвращать коррозию труб и другого оборудования, так как низкий уровень pH (кислотный) может вызвать коррозию;

– нейтрализовать сточные воды с сильно выраженной кислой или щелочной реакцией перед спуском в очистные сооружения.

PH-метрия важна в процессе очистки сточных вод для мониторинга кислотно-щелочного баланса среды. pH отражает активность водородных ионов в растворе и измеряется по логарифмической шкале от 0 до 14. Нейтральная точка – 7, в сторону нуля среда становится кислой, к 14 – щелочной.

Установка дополнительных датчиков – элемент автоматизации очистных сооружений, который позволяет контролировать ключевые параметры технологического процесса и оперативно реагировать на отклонения от нормы. Это помогает:

– стабилизировать процесс очистки – автоматические системы поддерживают оптимальные параметры, обеспечивая стабильное качество очищенной воды;

– снизить риск аварий – системы автоматического контроля и защиты предотвращают аварийные ситуации, такие как переполнение резервуаров, выход из строя оборудования и утечки загрязняющих веществ;

– повысить производительность – автоматизация позволяет увеличить пропускную способность очистных сооружений и оптимизировать использование оборудования.

Подводя итог в применении датчиков, можно сказать, что они являются важным инструментом на очистных сооружениях. Они используются для контроля уровня ответственных показателей сточных вод, оптимизации процесса аэрации, контроля качества поступающих сточных вод, и определения эффективности процесса очистки. С помощью датчиков, операторы очистных сооружений могут гарантировать, что сточные воды очищаются до соответствующего уровня, а вода, сбрасываемая в окружающую среду, безопасна и не содержит вредных загрязняющих веществ.

Список литературы

1 ГОСТ Р ИСО 14001 - 2016 Система экологического менеджмента : дата введения 2017-03-01. – Москва : Национальный стандарт Российской Федерации, 2016. – 40 с.

2 Свод правил СП 77.13330.2016 Системы автоматизации. Актуализированная редакция СНиП 3.05.07 от 21.04.2017 № ОКС 91.040; 25.040 // Информационной бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации. – 2017. – № 3.

3 Основы химии. Интернет-учебник // Новосибирский государственный университет. – URL: https://clk.li/zBvC (дата обращения: 31.10.2025).

ПОДОГРЕВАТЕЛИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

Карасев К.С., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Подогреватели газового конденсата (ПГК) – ключевые элементы технологических цепочек газоперерабатывающих и нефтедобывающих предприятий (рисунок 1). Их надёжная и энергоэффективная работа напрямую влияет на стабильность технологических процессов, снижение эксплуатационных затрат, минимизацию экологических рисков (предотвращение выбросов, утечек).

Рисунок 1 – Подогреватели газового конденсата (ПГК)

В условиях ужесточения требований к энергоэффективности и промышленной безопасности совершенствование систем автоматизации ПГК становится приоритетной задачей.

Газовые подогреватели конденсата (ГПК) используются в котлах-утилизаторах парогазовых энергоблоков для подогрева конденсата перед его подачей в деаэратор. Их основная задача – предотвратить низкотемпературную коррозию хвостовых поверхностей нагрева и выходных газоходов котла-утилизатора, а также обеспечить надёжную термическую деаэрацию.

Назначение подогревателей газового конденсата заключается в поддержание оптимальной температуры конденсата в системах, где требуется подогрев. Это позволяет [1–3]:

– предотвратить образование конденсата – он может привести к повреждению оборудования и снижению его эффективности;

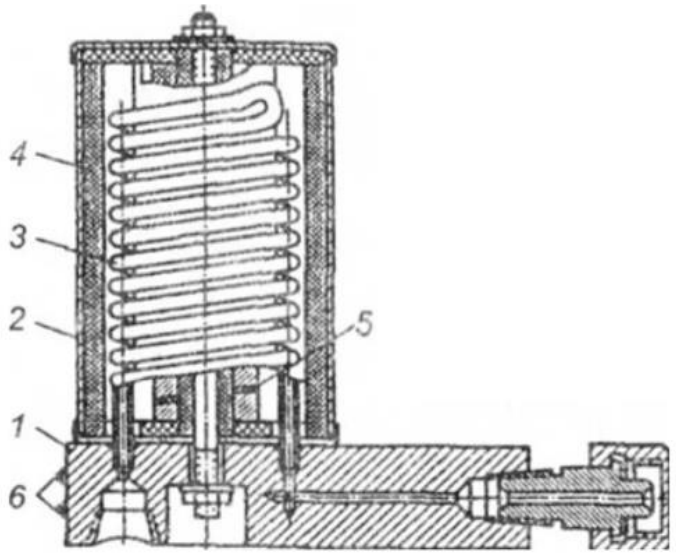
– охлаждать дымовые газы – например, в котлах-утилизаторах парогазовых энергоблоков подогреватели конденсата (ГПК) охлаждают дымовые газы до температуры 100 °С – 120 °С, чтобы избежать низкотемпературной коррозии хвостовой поверхности нагрева и выходных газоходов;

– поддерживать температуру конденсата на входе в подогреватель – например, в схемах ГПК (рисунок 2) подогретый конденсат на выходе из подогревателя в необходимом количестве подают на вход, чтобы поддерживать температуру конденсата на входе.

Подогреватели газового конденсата функционируют на основе теплообмена: теплоноситель (вода, пар или другой теплоноситель) передаёт тепло конденсату. Процесс подогрева может осуществляться через различные методы, включая конвекцию, кондукцию и радиацию.

В некоторых схемах ГПК используется ступенчатый подогрев конденсата – например, холодный конденсат поступает во входную ступень, параллельно входному трубопроводу включена промежуточная ступень, в которой осуществляется подогрев конденсата.

Расход конденсата через промежуточную ступень регулируется трёхходовым клапаном на входе.



1 – корпус; 2 – кожух; 3 – трубчатый змеевик; 4 – теплоизоляция; 5 – нагревательный элемент; 6 – клеммы

Рисунок 2 – Схема электрического подогревателя газа

Для поддержания недогрева до кипения перед деаэратором используется байпасная линия. В усовершенствованных схемах байпассируется частично подогретый в ПромСт конденсат, а не холодный.

Особенности [4]:

– в схемах с рециркуляцией часть подогретого конденсата возвращается на вход ГПК для поддержания необходимой температуры;

– в теплофикационных ПГУ температура конденсата перед ГПК может изменяться от 40 °С до 90 °С, что требует гибкого регулирования.

Конденсат содержит агрессивные вещества, поэтому элементы ГПК изготавливаются из коррозионностойких материалов, например, нержавеющей стали или силумина.

Тепло от дымовых газов передаётся конденсату через поверхности нагрева. При расчёте ГПК учитываются температуры дымовых газов и конденсата, относительное тепловосприятие ступеней, температурные напоры и коэффициент теплопередачи.

Разработка методик теплового расчёта и математических моделей позволит оптимизировать распределение тепловосприятия по ступеням ГПК и снизить металлоёмкость конструкции.

Таким образом, газовые подогреватели конденсата играют ключевую роль в обеспечении надёжности и эффективности работы парогазовых установок, предотвращая коррозию и обеспечивая оптимальные условия для деаэрации.

Список литературы

1 Аппараты и процессы технологии переработки нефти и газа / Х.С. Нурмухаммедов, О.Ш. Темиров, С.М. Туробжонов, Н.Р. Юсупбеков, С.Г. Зокиров, З.А. Таджиходжаев. – Т.: «Фан ва технология», 2016. – 856 с.

2 Хуторненко, С.Н. Опыт реконструкции паровых котлов Барнаульского котельного завода с повышением производительности и обеспечением технико–экономических и экологических показателей / С.Н. Хуторненко, В.Г. Петухов, А.С. Городилов // Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы: сб. докл. V науч. практ. конф.: в 3 т. – Т. III. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – С. 69–78.

3 Хуторненко, С.Н. Разработка схемы включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата для котла утилизатора с исключением линии рециркуляции конденсата / С.Н. Хуторненко // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.: в 9 ч. / под ред. О. В. Боруш. – Новосибирск: Изд во НГТУ, 2015. – Ч. 4. – С. 151–153.

4 Абдурахимов, К. А. Оптимизация технологических режимов работы установки стабилизации конденсата на примере промысла «Кокдумалак» / К. А. Абдурахимов, А.Р. Ли, М.А. Абдурахимов [Электронный ресурс] // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2024. –№ 3(120). – URL:https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16975 (дата обращения: 13.01.2026).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «БАЛКА ДЕРЖАТЕЛЯ»

Каретников Д.А., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современном машиностроении детали типа «Балка держателя» занимают ключевое место в конструкции ответственных узлов авиационно-космической и транспортной техники. Их отличительная черта – сочетание сложной пространственной геометрии с жёсткими требованиями к точности изготовления (IT7–IT8) и параметрам шероховатости поверхности (Ra от 0,4 мкм до 0,8 мкм). На практике применение традиционных методов финишной обработки: шлифования, полирования и доводки на станках с ЧПУ с фиксированными режимами резания, сталкивается с рядом существенных ограничений. К ним относятся: колебания твёрдости материала заготовок (± 2 HRC), неравномерность припуска после черновой обработки (± 0,3 мм), а также тепловые деформации, возникающие в процессе резания и приводящие к отклонению формы детали [1].

Актуальность данной работы определяется необходимостью решения следующих производственных задач:

– снижение процента брака, достигающего от 10 % до 15 % в условиях серийного производства;

– сокращение трудоёмкости ручной доводки, составляющей от 25 % до 30 % от общего времени операции;

– обеспечение воспроизводимости качественных показателей при обработке заготовок из разных партий.

Автоматизация процесса финишной обработки детали «Балка держателя», обеспечит стабилизацию параметров шероховатости на уровне Ra≤0,8 мкм, соблюдение допуска на отклонение формы не более 0,02 мм и сокращение общего времени обработки до 20 %.

Проблема процесса финишной доработки заключается в отсутствии комплексных автоматизированных решений для обработки деталей сложной геометрии на завершающих этапах, которые учитывали бы динамику износа инструмента (сопровождающуюся снижением стойкости от 20 % до 30 % при работе с закалёнными сталями), тепловые деформации в зоне резания (с возможным перегревом 200 °C) и неоднородность физико-механических свойств обрабатываемого материала. Следствием этих факторов становятся нестабильность качества поверхности (с коэффициентом вариации параметра Ra до 18 %), необходимость многократных контрольных замеров (до 4 измерений на одну деталь) и повышенный расход инструмента из-за неоптимального выбора режимов резания.

Технологический процесс финишной обработки детали «Балка держателя» на пятиосевом станке с ЧПУ, включает три основных этапа:

– предварительное шлифование с достижением параметра Ra 1,6 мкм;

– чистовое шлифование до уровня Ra 0,8 мкм;

– полирование, обеспечивающее финальную шероховатость Ra 0,4 мкм.

Разработка алгоритмов адаптивной коррекции скорости резания (V) и подачи (S), базирующихся на данных, получаемых от датчиков силы и температуры, математические модели, описывающие взаимосвязь между параметрами резания и качеством обрабатываемой поверхности, а также программно-аппаратные средства, позволяющие осуществлять мониторинг шероховатости в режиме реального времени являются задачами, решение которых позволит достичь максимальной эффективности процесса обработки.

Методология исследования должна включать несколько взаимосвязанных направлений. Во-первых, математическое моделирование процессов резания с учётом упругопластических деформаций, реализованных посредством метода конечных элементов в программном обеспечении ANSYS Mechanical. Во-вторых, применение экспериментальных исследований: измерение сил резания с использованием датчика Kistler 9129AA (с погрешностью ± 0,5 Н); контроль параметров шероховатости профилометром Hommel-Etamic W55 (с фиксацией показателей Ra и Rz); термометрия с помощью инфракрасной камеры FLIR A325sc (с точностью ± 1 °C). В-третьих, разработка алгоритмов адаптивного управления, в том числе ПИД-регуляция подачи по сигналу датчика силы и прогнозирование износа инструмента на основе нейронной сети LSTM.

Архитектура автоматизированной системы интегрирует датчики (для измерения силы резания, температуры и виброакустической эмиссии), промышленный контроллер на базе ПК с программным обеспечением, исполнительные механизмы (сервоприводы подачи и скорости шпинделя), программное обеспечение для анализа данных, включающее алгоритмы фильтрации шумов (фильтр Калмана) и прогнозирования качества поверхности.

В рамках разработки алгоритмов управления необходимо создать алгоритм коррекции подачи S по сигналу датчика силы F, описываемый формулой

$$S_{\text{корр}} = S_0 \left(1 - k \cdot \frac{F - F_{\text{ном}}}{F_{\text{ном}}}\right),$$

где k – коэффициент усиления;

$F_{\text{ном}}$ – номинальная сила резания;

S_0 – подача.

Интеграция системы в производственное оборудование будет осуществлена на пятиосевом обрабатывающем центре HAAS VF-5. Для сопряжения датчиков с системой ЧПУ необходимо применить модуль ввода-вывода Allen-Bradley 1734-IE8C. Передача данных по протоколу EtherCAT с циклом обмена tцикл=1 мс.

Экспериментальные исследования были проведены на заготовках из стали 40Х с твёрдостью от 28 HRC до 32 HRC. В таблице 1 представлены усред-

нённые результаты по выборке из 50 деталей, при ручном расчете корректировки и при расчете корректировки по показаниям датчиков силы резания.

Анализ эффективности внедрения разрабатываемой системы позволяет сделать следующие выводы:

– коэффициент вариации параметра Ra может снизится с 18 % до 6 %;

– возможно сокращение расхода инструмента на 15 % благодаря оптимизации режимов резания;

– достижение стабильности качества обработки при колебаниях твёрдости материала в диапазоне ± 2 HRC.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Параметр	Ручное управление	Автоматизированная система	Изменение
Ra, мкм	1,1±0,2	0,78±0,05	снижение 29 %
Отклонение формы, мм	0,032±0,005	0,018±0,003	снижение 44 %
Время обработки, мин	24,5±1,2	20,3±0,8	снижение 17 %
Процент брака	11,8 %	3,2 %	снижение 8,6 п.п.

В заключении следует подчеркнуть, что применение разрабатываемой автоматизированной системы позволит обеспечить стабилизацию качества поверхности за счёт адаптивной коррекции режимов резания, снизить процент брака на 8,6 процентных пунктов и сократить время обработки на 17 %. Подобная система обладает потенциалом для масштабирования на другие детали класса «Балки» при минимальной настройке алгоритмов.

Перспективными направлениями дальнейшего развития являются интеграция цифрового двойника технологического процесса для реализации предиктивного управления, расширение перечня контролируемых параметров (включая остаточные напряжения и микротвёрдость) и внедрение методов машинного зрения для оперативного контроля геометрической точности в ходе обработки.

Список литературы

1 Кудрявцев, В.Н. Основы резания металлов и режущий инструмент / В.Н. Кудрявцев. – М. : Машиностроение, 1978. – 400 с.

2 Соломенцев, Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов. – М.: Машиностроение, 1980. – 336 с.

3 Горанский, Г.К. Автоматизация технологических процессов машиностроения / Г.К. Горанский, А.А. Вениг. – М.: Машиностроение, 1981. – 352 с.

4 Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2007. – 320 с.

5 Попов, А.И. Системы адаптивного управления станками / А.И. Попов, А.Е. Ковалёв. – СПб.: Политехника, 2010. – 240 с.

6 Tao F. et al. Digital twin in industry: State-of-the-art and future trends // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2018. – Vol. 14, No. 11. – P. 5011–5021.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИМУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

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»

В условиях глобальной трансформации промышленного сектора и намечающегося в ближайшем будущем перехода к концепции Индустрии 5.0, эффективность производственных предприятий неразрывно связана с уровнем цифровизации производственных активов [1]. Промышленные роботы сегодня перестали быть изолированными единицами автоматизации, превратившись в сложные киберфизические системы. В этом контексте разработка симуляционной модели виртуального представления цифрового двойника (ЦД) становится критическим фактором обеспечения конкурентоспособности.

Традиционные методы моделирования (CAD/CAE) уже не удовлетворяют потребностям «умных фабрик», так как не обеспечивают двустороннюю связь с физическим объектом в реальном времени. Необходимость минимизации простоев, оптимизации энергопотребления и предотвращения аварийных ситуаций требует создания систем, способных не только отображать текущее состояние робота, но и прогнозировать его поведение в условиях изменяющейся среды, с учетом экономической эффективности [2].

Приложение симуляции модели виртуального представления ЦД отдельного промышленного робота. Для наглядности приведем рисунок 1, на котором демонстрируется экранная форма программного обеспечения (ПО) симуляционного моделирования виртуального представления ЦД отдельного промышленного робота.

Представленный на рисунке 1 интерфейс программы иллюстрирует комплексный подход к виртуализации. Левая панель «Управление циклом» демонстрирует возможность точного моделирования и настройки технологического процесса. Пользователь может задавать критические параметры, такие как загрузка, ожидание, проведение технологической операции (на примере – сварка) и скорость перемещения промышленного робота. При этом система мгновенно пересчитывает время выполнения цикла (на примере: 8.30 с) и производительность (деталей в час).

Симуляционная среда позволяет инженеру без риска для дорогостоящего оборудования и без остановки производства отрабатывать оптимальные режимы работы. Это прямое воплощение принципа виртуального ввода в эксплуатацию, что значительно сокращает время выхода на проектную мощность.

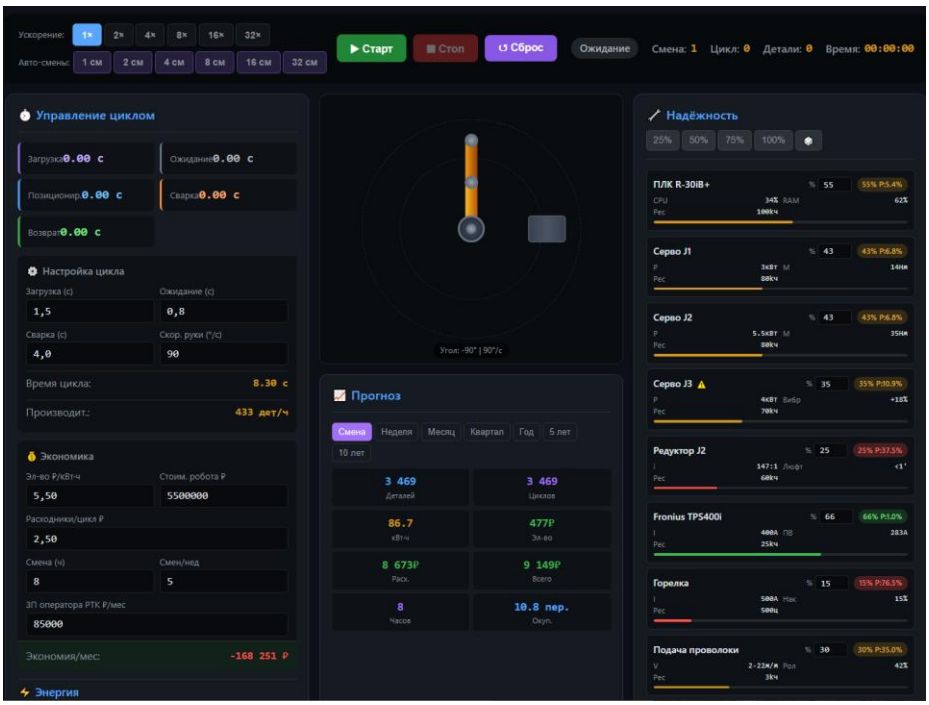


Рисунок 1 – Экранная форма ПО симуляционного моделирования виртуального представления отдельного промышленного робота

Критически важным элементом симуляционной среды является панель «Надёжность». Это не просто мониторинг текущего состояния, а инструмент прогнозной аналитики, содержащий мониторинг компонентов, где отслеживается состояние ключевых узлов, таких как ПЛК, сервоприводы, редуктор, сварочный аппарат, горелка, система газа и другие. Для каждого компонента отображается текущий износ, выраженный в процентах и прогноз ресурса в днях.

Симуляционная модель использует эти данные для прогнозирования остаточного срока службы. Это позволяет перейти от реактивного к предиктивному подходу, что многократно снижает риски аварий и простоев [3].

Любая технологическая инициатива на предприятии должна иметь четкое экономическое обоснование. Симуляционная среда предоставляет объективные данные для финансового анализа в панели «Экономика», в которой учитываются стоимость робота, заработная плата оператора робототехнического комплекса, затраты на расходные материалы, количество циклов работы с учетом сменности. Немаловажным является расчет энергоэффективности, позволяющей отслеживать и прогнозировать потребление электроэнергии.

Представленная программа демонстрирует, что такой подход позволяет объединить технические, экономические и управленческие аспекты в едином цифровом пространстве. Таким образом, симуляция дает инженерам контролируемую среду для экспериментов, повышает безопасность производства, а руководителям предприятий позволяет просчитать финансовую отдачу от инвестиций в роботизацию [4].

Приложение моделирования виртуального представления ЦД роботизированной технологической линии. Логичным развитием идеи моделирования виртуального представления ЦД отдельного робота является построение модели для их совокупности, объединенных технологическим процессом в рамках технологической линии. На рисунке 2 показана работа ПО симуляционного моделирования виртуального представления роботизированной технологической линии, позволяющая моделировать технологическую линию обработки ПЭТ-бутылок.

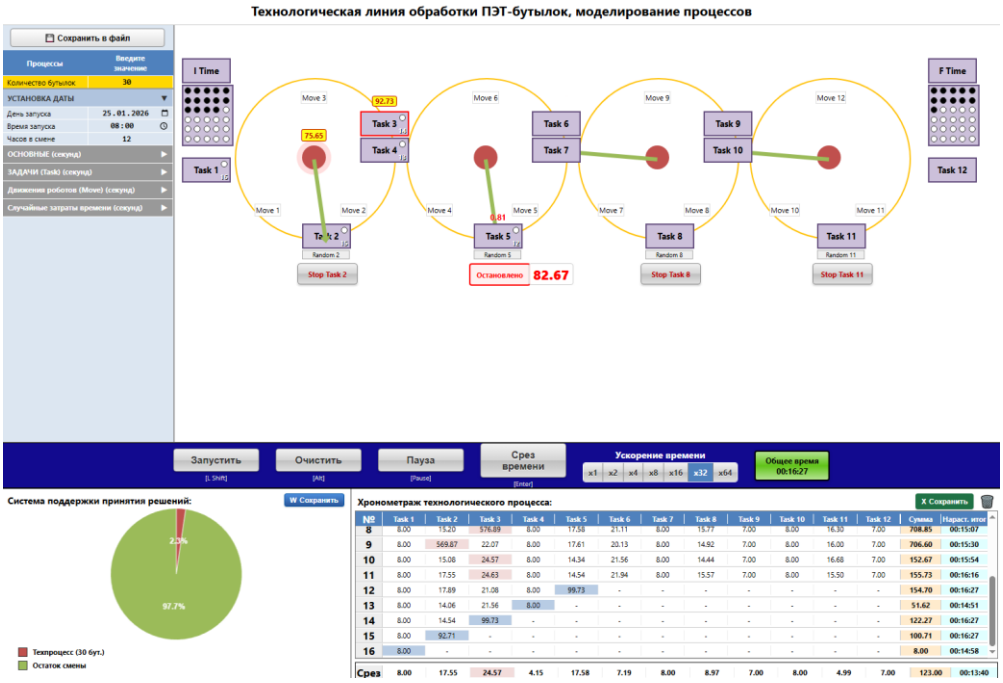


Рисунок 2 – Экранная форма ПО симуляционного моделирования виртуального представления роботизированной технологической линии обработки ПЭТ-бутылок

Как видно из рисунка 2, центральная часть интерфейса программы отображает схему технологической линии, состоящую из нескольких постов (позиции с T1 по T12) и транспортных связей (Move 1-12).

Визуализация потока позволяет инженеру мгновенно оценить узкие места (бутылочные горлышки). В данном примере, посты «Task 3» и «Task 6» выделены желтым и красным, что сигнализирует о задержках или простоях на этих участках. Нижняя таблица «Хронометраж технологических процессов» показывает детальные временные метрики для каждого этапа. Симуляционная среда позволяет инженеру без риска для дорогостоящего оборудования и без остановки производства отрабатывать оптимальные режимы работы, меняя длительность задач, при этом симуляция обеспечивает прямое воплощение принципа виртуального ввода в эксплуатацию, что значительно сокращает время выхода на проектную мощность [5].

Важным дополнительным элементом симуляционной среды является панель «Система поддержки принятия решений». Это не просто мониторинг те-

кущего состояния, а инструмент прогнозной аналитики и экономического обоснования, позволяющая проанализировать эффективность, включая такие показатели как общее время цикла, что позволяет оценить производительность линии в целом. Для большей наглядности круговая диаграмма на скриншоте демонстрирует соотношение полезного времени и вспомогательных операций.

Таким образом, представленное ПО использует моделируемые данные для прогнозирования результатов изменений в техпроцессе, что позволяет перейти от интуитивных управленческих решений к решениям, основанным на объективных данных моделирования.

Выводы. Создание симуляционной среды моделирования виртуального представления отдельного промышленного робота и роботизированной технологической линии позволяет безопасно, быстро и достаточно точно оценить переход к полностью автоматизированному производству. Представленные программные приложения демонстрируют, что такой подход позволяет объединить технические, экономические и управленческие аспекты в едином цифровом пространстве. Инженеры получают надежный, точный инструмент быстрого анализа для прогноза состояний роботизированного комплекса при различных режимах работы. Расчет экономических показателей позволяет руководителю предприятия принимать взвешенные решения об инвестициях и оптимизации текущих затрат.

Список литературы

1 1 Lyu, Z. Digital Twins in Industry 5.0 / Z. Lyu // Research. – 2023. – Vol. 6. – № 0071.

2 Леонтьева, И.Н. Подходы к применению цифровых двойников системными интеграторами и производителями робототехники / И.Н. Леонтьева, Д.С. Бурцев // Экономика и экологический менеджмент. – 2022. – № 2.

3 Bae, C. Technologies, Applications, and Challenges of Digital Twin Across Industries: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature / C. Bae, E. Choi, S. Lee // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – Pp. 126131-126159.

4 Choi, H. On the use of simulation in robotics: Opportunities, challenges, and suggestions for moving forward / H. Choi, C. Crump, C. Duriez [et al.] // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2021. – Vol. 118. – № 1.

5 Aljalbout, E. The Reality Gap in Robotics: Challenges, Solutions, and Best Practices [Electronic resource] / E. Aljalbout, J. Xing, A. Romero [et al.] // arXiv. – 2023. – Mode of access: arxiv.org – 28.01.2024.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кашаев С.А., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На предприятиях газовой промышленности внедряются системы управления качеством продукции. В этих системах рассматриваются вопросы соблюдения нормативных требований стандартов для повышения эффективности газовых предприятий, целей производства и показателей качества.

Показатель качества определяется как совокупность свойств и характеристик продукта, которые составляют его качество. Для потребителя качество — это набор характеристик, удовлетворяющих его потребности и соответствующих назначению товара.

Ключевые факторы, влияющие на качество продукции, включают:

- применение современных технологий;
- уровень и организация производства;
- качество используемого оборудования, материалов и комплектующих;
- квалификация сотрудников и организация их труда;
- технологии и автоматизация.

Для значительного повышения эксплуатационной эффективности в газовой промышленности важен правильный выбор технологий. Использование интегрированных систем и приложений в производственно-сбытовой цепочке помогает уменьшить общую стоимость владения.

Специализированные решения необходимы для выполнения жестких проектных требований и оптимизации жизненного цикла продукции.

Основным стимулом для внедрения передовых технологий является разработка как традиционных, так и нетрадиционных ресурсов, модернизация устаревших объектов и повышение внимания к безопасности.

Автоматизация дает множество преимуществ, наиболее существенное из которых – увеличение объемов добычи. Усовершенствованные стратегии управления помогают обеспечивать целостность активов и скважин. Интеллектуальные контрольно-измерительные приборы (датчики давления, температуры, расходомеры, аналитические приборы) гарантируют точность данных.

Надежные системы управления позволяют оптимально использовать оборудование для повышения производительности и прибыльности. Ассортимент таких систем широк – от простых контроллеров до полномасштабных распределенных систем управления (РСУ). Вспомогательные решения включают модульные станции измерения и регулирования давления газа, системы автоматизации станций и специальное программное обеспечение.

Современные технологические решения улучшили контроль и анализ процессов в газовой отрасли. Инструменты удаленного контроля предлагают

новые функции анализа и сбора информации, помогая принимать обоснованные решения по всей цепочке создания стоимости.

Значительный прогресс достигнут и в области анализа, и в области обработки газа. Применение новых растворителей и химических адсорбентов помогает удалять загрязнения (ртуть, сероводород, сероокись углерода). Эти нововведения используются для обессеривания и доочистки газа в соответствии с требованиями транспортировки и заказчиков.

Цифровизация производственно-сбытовой цепочки предоставляет новые возможности для снижения издержек. Автоматизация производственных процессов сокращает влияние человеческого фактора, повышает точность выполнения операций и позволяет высвободить ресурсы для решения стратегических задач. В результате достигается существенное снижение общей стоимости владения активами и рост коэффициента их использования.

Современные системы автоматического контроля и управления обеспечивают:

– непрерывный мониторинг параметров добычи и переработки;

– оперативное выявление отклонений от нормативных показателей;

– автоматическое регулирование режимов работы оборудования;

– прогнозирование потенциальных неисправностей.

Это не только увеличивает объёмы добычи, но и существенно повышает безопасность эксплуатации скважин и трубопроводов. Интеллектуальные датчики давления, температуры и расхода, интегрированные в единую систему мониторинга, гарантируют достоверность данных и позволяют принимать обоснованные управленческие решения.

Дополнительно для повышения эффективности работы предприятия служит внедрение энергоэффективных технологий. Например, системы рекуперации тепла позволяют утилизировать энергию, выделяющуюся в процессе переработки, для собственных нужд производства. Это не только снижает операционные затраты, но и уменьшает углеродный след предприятия.

Современный уровень развития газовой промышленности требует применения комплексных систем управления, способных обеспечить оптимальное использование производственных активов.

Локальные контроллеры выполняют базовые функции регулирования, такие как поддержание заданного давления или температуры в конкретных узлах. Они отличаются простотой настройки и надёжностью, что делает их незаменимыми для решения узкоспециализированных задач.

Распределённые системы управления представляют собой более продвинутое решение. Они объединяют множество контроллеров в единую сеть, обеспечивая:

– централизованный мониторинг состояния оборудования;

– автоматическую координацию работы различных технологических линий;

– визуализацию производственных процессов в режиме реального времени;

– архивирование данных для последующего анализа.

Модульные станции измерения и регулирования давления газа служат промежуточным звеном между локальными и распределёнными системами. Они позволяют гибко настраивать параметры транспортировки в зависимости от текущих потребностей снижая риски аварийных ситуаций.

Специализированное программное обеспечение дополняет аппаратные решения, предоставляя инструменты для:

– математического моделирования технологических процессов;
– прогнозирования спроса на продукцию;
– оптимизации загрузки производственных мощностей;
– анализа экономической эффективности операций.

Особое значение приобретают инструменты удалённого мониторинга. Современные SCADA-системы обеспечивают сбор и обработку данных с территориально распределённых объектов. Их интеграция с платформами открывает возможности для:

– прогнозов, позволяющих прогнозировать отказы оборудования;
– дистанционного управления технологическими процессами;
– автоматического формирования отчётности;
– оперативного реагирования на нештатные ситуации.

Системы качества и политики в организации должна соответствовать международным стандартам ИСО серии 9000, которые определяют систему качества (СК) как совокупность организационной структуры, методик и ресурсов для руководства качеством. Система качества рассматривается как кибернетическая система управления, состоящая из объекта и управляющей компоненты.

Для повышения производительности используется система электронного документооборота (СЭД) Директум. СЭД обеспечивает сокращение трудозатрат, повышение исполнительской дисциплины, прозрачность бизнес-процессов и сохранность информации. Она также помогает соблюдать стандарты ИСО 9000, развивает корпоративную культуру и ускоряет адаптацию новых сотрудников. Электронный архив СЭД сокращает расходы на бумажное хранение и экономит время поиска документов.

Список литературы

1 Дудникова, Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности / Е.Г. Дудников. – М. : Химия, 1987. – 368 с.

2 Гуревич, А.Л. Автоматический хроматографический анализ/ А.Л. Гуревич, Л.А. Русинов, Н.А. Сягаев. – Л. : Химия, 1980. – 192 с.

3 Полоцкий, Л.М. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации / Л.М. Полоцкий, Г.И. Лапшенков. – М. : Химия, 1982. – 296 с.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПАЙКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Кравченко Н.Е., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современные требования к надёжности и долговечности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) обусловливают необходимость перехода от ручного и выборочного контроля паяных соединений к автоматизированным системам сплошного контроля. В авиационно-космической, медицинской и телекоммуникационной отраслях дефекты пайки (непропай, поры, трещины, избыток/недостаток припоя, перемычки) приводят к отказам изделий, росту гарантийных издержек и репутационным рискам. Особую актуальность приобретает задача обеспечения стабильного качества при: смене типов паяльных материалов (бессвинцовые припои [1], разные флюсы); варьировании геометрии соединений; воздействии динамических возмущений (колебания температуры, вибрации).

Традиционные методы контроля (визуальный осмотр, пример приведен на рисунке 1, рентгеновская дефектоскопия, микроскопия) характеризуются высокой трудоёмкостью, низкой производительностью, субъективностью оценки, невозможностью полного охвата изделий. Это вынуждает предприятия идти на компромисс между стоимостью контроля и уровнем брака (от 7 % до 12 %). Для решения проблемы перспективно применение систем компьютерного зрения и машинного обучения, позволяющих выявлять дефекты в реальном времени, адаптироваться к разным типам соединений, формировать цифровые паспорта качества и интегрировать процесс в цифровые цепочки Industry 4.0.

Рисунок 1 – Пример визуального контроля пайки плат

На решение выявленных недостатков существующей системы контроля пайки направлена разработка автоматизированной системы контроля пайки (АСК пайки), обеспечивающей:

– выявление дефектов с вероятностью не ниже 98 %;

– сокращение времени контроля от 5 до 8 раз по сравнению с ручными методами;

– адаптивную настройку параметров контроля под разные типы материалов и конструкций;

– формирование цифрового паспорта качества с фото- и термофиксацией каждого соединения;

– интеграцию с MES, ERP и QMS для сквозной прослеживаемости;

– прогнозирование потенциальных дефектов на основе анализа трендов.

Для достижения максимальной эффективности внедрения системы необходимо решить следующие технические задачи:

– разработать структурную схему АСК пайки с многоуровневой архитектурой;

– выбрать и настроить промышленные протоколы обмена данными между компонентами системы;

– организовать резервирование каналов связи для повышения отказоустойчивости;

– интегрировать систему технического зрения и датчиков для контроля качества пайки;

– создать алгоритмы распознавания дефектов на основе глубокого обучения;

– реализовать механизмы самообучения системы на основе исторических данных о дефектах [2];

– разработать интерфейсы интеграции с оборудованием для поверхностного монтажа (SMT) и системами управления производством.

Проектирование структурной схемы АСК пайки предполагает создание многоуровневой архитектуры, включающей:

– датчики контроля параметров процесса (термопары, ИК-датчики, датчики силы);

– камеры высокого разрешения (2D/3D) для фиксации изображений паяных соединений;

– осветительные системы с регулируемой цветовой температурой;

– модули ввода-вывода для преобразования аналоговых и цифровых сигналов;

– промышленный контроллер для обработки данных и формирования отчётов;

– каналы связи (основные и резервные) для передачи информации;

– верхний уровень управления (SCADA-система) для визуализации, архивирования и интеграции с MES/ERP.

Задачей разработки системы контроля является обеспечение точности измерений. Для контроля температуры могут быть использованы термопары

класса точности А (погрешность ± 0,5 °С). Геометрические параметры (высота, ширина, форма галтели) измеряются лазерными профилометрами с разрешением 0,001 мм. Для распознавания дефектов применяется система технического зрения на базе камер разрешением 12 Мп с алгоритмами свёрточных нейронных сетей (CNN).

Регулирование процесса контроля может быть реализовано на основе данных от датчиков и системы технического зрения. Для преобразования цифровых данных протокола МЭК 60870-5-104 в аналоговые сигналы возможно применение программно-аппаратного шлюза на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) ОВЕН ПЛК-210 PL с библиотекой поддержки МЭК 60870-5-104. В качестве модуля вывода может быть использован ОВЕН МУ-210.

Алгоритмы распознавания дефектов могут быть реализованы на базе свёрточных нейронных сетей (CNN) с использованием фреймворка TensorFlow. Модель следует обучить на наборе данных из 10 000 изображений паяных соединений с разметкой дефектов (непропай, поры, перемычки и др.). Для повышения точности применена аугментация данных (поворот, масштабирование, изменение яркости).

Проведённое исследование предметной области демонстрирует возможность создания АСК пайки, отвечающей современным требованиям к качеству и производительности. Предложенное решение позволит:

- исключить ручной контроль параметров пайки;
- снизить процент брака 2 %;
- сократить время контрольных операций на 80 %;
- обеспечить цифровую прослеживаемость каждого изделия;
- соответствовать стандартам IPC-A-610, ГОСТ Р МЭК 61192-2010 [3], RoHS [4].

Разработанный подход носит универсальный характер и может быть адаптирован для других типов пайки (кабельные соединения, корпусные изделия). Дальнейшее развитие системы возможно за счёт:

- интеграции цифровых двойников для симуляции процесса пайки;
- применения генеративных моделей для синтеза эталонных изображений дефектов;
- использования облачных платформ для анализа больших данных о дефектах;
- создания модульных сенсорных головок для работы с разнотипными материалами.

Список литературы

1 ГОСТ Р 56427-2015. Пайка электронных модулей. Бессвинцовые технологии. – Введ. 2015–09–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 30 с.

2 Петров, В. А. Компьютерное зрение в контроле электроники/ В.А. Петров, С.К. Иванов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2025. – 200 с.

3 ГОСТ Р МЭК 61192-2010. Пайка электронных модулей. Требования к качеству. – Введ. 2011–07–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 54 с.

4 Европейский союз директива 2011/65/EC (Directive 2011/65/EC RoHS) европейского парламента и совета ЕС об ограничении использования определенных опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stv39.ru/gosts/Directive-2011-65-RoHS-RU.pdf. – 16.01.2026.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖГУТОВ: СНИЖЕНИЕ ОТХОДОВ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Кривошеева И.М., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В основу современной производственной стратегии, большую популярность набирает идея бережливого подхода – минимизация потерь при одновременном упрощении процедур. Такой путь позволяет компаниям постоянно наращивать конкурентный потенциал, трансформируя сэкономленные ресурсы в экономическую эффективность. Производство жгутов проводов традиционно считалось трудоемким процессом с большой долей ручного труда и значительным объемом отходов. Однако внедрение автоматизации кардинально меняет ситуацию, позволяя предприятиям не только повышать маржинальность, но и минимизировать экологический след. Разберём два ключевых аспекта экологичности автоматизированного производства: радикальное снижение материальных отходов и оптимизацию энергопотребления.

Снижение материальных отходов на производстве будет осуществляться за счёт следующих моментов:

1) Традиционный метод ручной раскладки проводов непосредственно с катушек на сборочных плазах характеризуется высокой материалоемкостью. Из-за необходимости формирования значительных припусков для последующей обработки, существенная часть провода в итоге отсекается и утилизируется. Практика подтверждает, что объем технологических отходов при таком подходе достигает 30 %, что в масштабах серийного производства ведет к неоправданно высокому перерасходу ресурсов. В масштабах крупного завода даже 1 % сэкономленного провода превращается в километры материала в год. Автоматизация воздействует на этот показатель сразу на нескольких уровнях.

2) При ручной или полуавтоматической обработке неизбежны погрешности. Оператор может отрезать чуть больше «на всякий случай» или испортить зачистку, что ведет к браку всего отрезка. Современные автоматические линии (например, системы Komax или Schleuniger) обладают точностью до десятых долей миллиметра. В итоге, при производстве кабеля, исключаются «припуски» и минимизируется брак при снятии изоляции.

3) При производстве кабеля используются наконечники и контакты. Необходимо оптимизировать инструмент для обеспечения надежного обжима наконечников и соединения проводов с контактами. Системы автоматического мониторинга усилия обжима (CFA – Crimp Force Analyzer) проверяют каждое соединение в режиме реального времени. Если при ручном обжиме брак может быть замечен только на этапе финального тестирования (когда жгут уже собран), то автомат отсекает дефектную деталь мгновенно. После внедрения ав-

томатизации, снижается количество выброшенных клемм и разъемов, а также предотвращается утилизация целых узлов готовой продукции.

4) Введение цифрового проектирование и «гнездование» на производстве, положительно влияет на качество производимой продукции, происходит минимизация остатков провода в конце катушки. Использование специализированного ПО (например, Zuken или Capital) позволяет виртуально оптимизировать раскладку проводов. Алгоритмы рассчитывают кратчайшие пути и оптимальные схемы нарезки из одной бухты.

Переход от старых методов производства к современным автоматизированным ячейкам дает колоссальную экономию электроэнергии.

Замена пневматики и гидравлики на сервоприводы. Старые прессы часто использовали гидравлические системы, которые потребляют энергию постоянно для поддержания давления. Современные автоматические станции оснащены сервоприводами, которые потребляют ток только в момент совершения полезного действия (удара или движения). Энергопотребление сервопресса может быть на 40 % – 60 % ниже, чем у его гидравлического аналога. Это является важным экономическим моментом на промышленном предприятии.

Использование функции «Умное управление климатом и освещением» снижает мощность в периоды простоя или переключается в режим глубокого сна. Современные станки могут передавать данные в систему управления зданием. Автоматизированные линии занимают меньше места по сравнению с рядами столов для ручной сборки. Меньшая площадь цеха требует меньше затрат на отопление, кондиционирование и освещение.

Установление прямых долгосрочных связей способствует сокращению логистического следа за счет устранения неэффективных перевозок и избыточного хранения. В результате компания достигает высокой скорости выполнения заказов и гибкости в управлении спросом. Автоматизация позволяет переносить производство ближе к конечному потребителю. Ранее производство жгутов выносилось в страны с дешевой рабочей силой, что влекло огромные затраты топлива на транспортировку. Локальная автоматизированная фабрика радикально сокращает выбросы CO_2, связанные с логистикой.

Автоматизация производства косвенно влияет на экологию. Экологический эффект автоматизации выходит за пределы заводского цеха. Автоматика позволяет работать с ультратонкими проводами (0.13 мм² и меньше), которые крайне сложно обрабатывать вручную. В автомобилестроении и авиации это ведет к снижению веса жгута, что напрямую уменьшает расход топлива или увеличивает запас хода электромобиля. Высокое качество автоматического обжима гарантирует, что прибор прослужит дольше, не превращаясь в электронный мусор из-за перегоревшего контакта. Автоматизированные линии работают с цифровыми чертежами. Это исключает необходимость распечатки тысяч листов технологических карт и схем раскладки для монтажников.

Автоматизация производства жгутов проводов – это редкий случай, когда интересы бизнеса и экологии полностью совпадают. Снижение расхода меди, ПВХ и электроэнергии напрямую отражается на снижении себестоимости про-

дукции. Внедряя робототехнику и интеллектуальные системы контроля, производители не просто повышают скорость сборки – они создают фундамент для «циркулярной экономики», где ресурсы используются максимально эффективно, а потери сводятся к физическому минимуму. Будущее индустрии жгутов – за точностью, которая бережет планету.

Список литературы

1 Абушова, Е. Е. Успешные методы бережливого производства на предприятиях оборонно-промышленного комплекса / Е. Е. Абушова, К. Е. Шабалина // Материалы конференции / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2023. – Т. 2. – С. 314–319.

2 Галкин, С. Аппликаторы для обжима наконечников на провод от ООО «Совтест АТЕ» / С. Галкин // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – № 3. – URL: https://tech-e.ru/2015_3_64.php?link=1 (дата обращения: 24.01.2026).

3 Голубьев, А. Безошибочное производство жгутов и внутриблочных соединений для изделий специального назначения / А. Голубьев // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – № 3. – URL: https://tech-e.ru/2014_3_64.php (дата обращения: 24.01.2026).

4 Ключников, В. Ф. Применение методов управления предприятием в кабельной промышленности / В. Ф. Ключников, В. Н. Родионов, Т. В. Попова // Организатор производства. – 2007. – № 2 (20). – С. 20–27.

5 Кунафина, А. О. Улучшение технологического процесса изготовления жгутовых изделий / А. О. Кунафина, С. В. Чертовских // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 5. – С. 223–241.

6 Лащенов, Д. П. Имитационное моделирование гибкой производственной системы на базе автоматизированного сборочно-монтажного цеха / Д. П. Лащенов, В. Л. Бурковский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 51–56.

7 Рогулин, Р. С. Систематический обзор научной литературы на тему «Бережливое управление цепями поставок: анализ накопленного опыта» / Р. С. Рогулин // Организатор производства. – 2023. – Т. 31, № 3. – С. 39–53.

8 Синетова, Р. Г. Практические аспекты внедрения инструментов бережливого производства на машиностроительных предприятиях / Р. Г. Синетова, Ю. Э. Кошенков, Ф. Ф. Бикмуллина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 12 (42). Ч. 6. – С. 38–42.

КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лагунова Ю.А., Барыба В.Р., Кондусова В.Б., д-р техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современный беспилотный летательный аппарат (БПЛА) представляет собой сложный технический комплекс, способный осуществлять полёты и выполнять целевые задачи без непосредственного присутствия экипажа на борту. Управление летательным аппаратом осуществляется либо дистанционно оператором при помощи каналов связи, либо в автоматическом режиме на основе заранее заданных программ и алгоритмов. Встроенные программы и датчики обрабатывают информацию от бортовых сенсоров.

Если первоначально развитие БПЛА было обусловлено преимущественно потребностями в военной сфере, то в настоящее время наблюдается стремительное внедрение техники в гражданский сектор. На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты используются в аэрофотосъемке, картографии, мониторинге промышленных и сельскохозяйственных объектов, доставке малогабаритных грузов, проведении научных исследований и др.

Современные БПЛА классифицируются по нескольким ключевым признакам, наиболее важными из них являются конструктивное исполнение и целевое назначение. По конструктивному признаку и принципу полёта выделяют следующие основные типы [1]:

1. Мультикоптеры (квадрокоптеры, гексакоптеры, октокоптеры). Аппараты вертикального взлёта и посадки с несущей системой на основе нескольких воздушных винтов. Основные преимущества –высокая манёвренность, способность к зависанию в точке, простота управления, что обусловило их широкое использование в задачах видеонаблюдения, съёмки и инспекции.
2. БПЛА самолётного типа (с неподвижным крылом). По аэродинамической схеме и принципу создания подъёмной силы аналогичны пилотируемым самолётам. Обладают значительно большей, по сравнению с мультикоптерами, продолжительностью и дальностью полёта благодаря высокой аэродинамической эффективности, что делает их оптимальным выбором для картографирования, мониторинга крупных территорий и патрулирования.
3. Гибридные (конвертопланы) БПЛА. Конструктивно совмещают преимущества аппаратов вертикального взлёта и машин самолётного типа. Способны взлетать и садиться вертикально, как мультикоптер, а на маршруте переходить в горизонтальный полёт с неподвижным крылом для экономии энергии. Перспективны для задач, где требуется сочетание манёвренности в стеснённых условиях и большой дальности.
4. Мини- и микроБПЛА. Сверхлёгкие и компактные аппараты, часто используемые для оперативной разведки в условиях города, внутри помещений

или для решения специализированных задач, где применение более крупных систем затруднено.

Классификация по целевому назначению непосредственно вытекает из функциональных возможностей аппарата и устанавливаемой на него полезной нагрузки [1]:

1. Военные БПЛА. Основная задача – тактическая и стратегическая разведка, радиоэлектронная борьба, целеуказания, а также ударные функции.
2. Гражданские и коммерческие БПЛА. Применяются для аэрофото- и видеосъёмки, создания и обновления цифровых карт и 3D-моделей местности, инспекции линейных сооружений (ЛЭП, трубопроводы), в точном земледелии для мониторинга состояния посевов и дифференцированного внесения реагентов, для доставки почтовых отправлений и медицинских грузов.
3. Научно-исследовательские БПЛА. Используются для экологического мониторинга (замеры загрязнения атмосферы), метеорологических исследований, изучения труднодоступных природных объектов и археологических памятников.

Классификация БПЛА, которая применима на территории Российской Федерации, представлена в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Классификация беспилотных летательных аппаратов

Класс БПЛА	Взлетная масса, кг	Дальность действия, км
Микро- и мини БПЛА ближнего радиуса действия	5	25-40
Легкие БПЛА малого радиуса действия	5-50	100-120
Легкие БПЛА среднего радиуса действия	50-100	70-150 (250)
Средние БПЛА	100-300	150-1000
Среднетяжелые БПЛА	300-500	70-300
Тяжелые БПЛА среднего радиуса действия	>500	70-300
Тяжелые БПЛА большой продолжительности полета	>500	1500
Беспилотные боевые самолеты (ББС)	500	1500

Беспилотный летательный аппарат как объект управления представляет собой совокупность взаимосвязанных подсистем, совместная работа которых обеспечивает выполнение полётного задания. Эффективность и надёжность автоматизации управления напрямую зависят от понимания устройства и принципов работы этих подсистем [3].

1. Платформа и двигательная установка. Конструкция планера (рама мультикоптера, крыло самолётного типа) определяет лётно-технические характеристики. Двигательная установка (электромоторы с регуляторами хода, сервоприводы рулевых поверхностей) является исполнительным органом системы управления, преобразующим электрические управляющие сигналы в механические движения.

2. Энергетическая система. Является источником жизнеобеспечения всех бортовых систем. В абсолютном большинстве случаев используются литий-полимерные (Li-Po) или литий-ионные (Li-Ion) аккумуляторные батареи, характеризующиеся высокой удельной энергоёмкостью. Для увеличения автономности ведутся разработки по использованию гибридных (двигатель внутреннего сгорания и генератор) систем и солнечных панелей.

3. Сенсорный комплекс и система навигации. Формирует информационную картину о состоянии аппарата и окружающей среде. Его основу составляют:

– инерциальная измерительная единица (IMU). Включает акселерометры и гироскопы, измеряющие линейные ускорения и угловые скорости. Является основным источником данных для стабилизации и определения ориентации аппарата;

– приёмник глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS). Обеспечивает определение географических координат, высоты и скорости. Для повышения точности до сантиметрового уровня применяются технологии дифференциальных поправок (RTK, PPP);

– барометр. Измеряет атмосферное давление для оценки высоты;

– датчики ориентации относительно земли. Магнитометр (электронный компас), сонары, лидары и оптические камеры используются для удержания позиции, обхода препятствий и навигации в условиях отсутствия сигнала GNSS (SLAM-технологии).

4. Бортовой вычислительный комплекс (полётный контроллер). Является «мозгом» БПЛА. Полётный контроллер – это высокопроизводительный микроконтроллер или микрокомпьютер (например, на базе архитектур Pixhawk, Raspberry Pi), на котором функционирует программное обеспечение автопилота. Данный комплекс в реальном времени обрабатывает данные со всех сенсоров, исполняет заложенные алгоритмы стабилизации и навигации, и формирует управляющие сигналы для двигательной установки.

5. Система связи и передачи данных. Обеспечивает двусторонний обмен информацией между БПЛА и наземной контрольной станцией (НКС). По радиоканалу (на специализированных частотах) передаются телеметрические данные (координаты, состояние систем, показания датчиков) и служебная информация, а от НКС на борт поступают команды управления и корректировки миссии. Отдельный высокоскоростной канал (цифровой видеопоток) используется для передачи изображения с бортовых камер.

6. Полезная нагрузка. Целевое оборудование, определяющее задание на полёт: фото- и видеоаппаратура (в т.ч. тепловизионная и многозональная),

лидары, спектрометры, устройства захвата и сброса грузов. Управление полезной нагрузкой – важная часть общей системы автоматизации.

В ходе работы был проведён анализ современных беспилотных летательных аппаратов, который позволил установить, что современные БПЛА представляют собой сложные робототехнические комплексы, прошедшие путь от узкоспециализированных военных систем до универсальных платформ, широко применяемых в гражданском секторе. Функциональность и сфера применения аппарата определяются его конструктивным исполнением (мультикоптер, самолётный тип, гибридная схема) и типом полезной нагрузки, а надёжная и автономная работа обеспечивается синергией ключевых бортовых подсистем: конструктивно-двигательной, энергетической, сенсорно-навигационной, вычислительной и системы связи.

Список литературы

1. Догерти М. Дроны: Первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА. – Москва: ГрандМастер, 2017. – 224 с.

2. Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 [Электронный ресурс] – URL: http://www.garant.ru (дата обращения: 20.01.2026).

3. Иноземцев Д. П. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Часть 1: Обзор технических средств // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. – №2(49).

РАЗВИТИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ СПЕЦИФИКАЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ ГОСТ 2.108–2021

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

Современные системы автоматизированного проектирования технологических процессов сборки в машиностроении все в большей степени берут на себя функции формирования сопроводительной технической документации, среди которой особое место занимает спецификация изделия.

Согласно требованиям ГОСТ 2.108–2021 спецификация должна содержать полный перечень компонентов, необходимых для сборки, с четкой классификацией по типам: детали, сборочные единицы, стандартные изделия, материалы и другие [1].

В современных CAD-системах, включая отечественный КОМПАС-3D, реализована встроенная функция автоматической генерации спецификации на основе структуры 3D-сборки.

Однако на практике полученное представление часто требует ручной корректировки. Основной причиной является недостаточная точность распознавания типа компонента системой: например, болт, добавленный из библиотеки стандартных изделий (БИС), может быть ошибочно классифицирован как «деталь», если в его метаданных отсутствует явное указание на соответствие ГОСТ. Аналогично, позиции с обозначениями, содержащими шифр стандарта, но введенные вручную, могут не попасть в раздел «Стандартные изделия».

В результате инженер вынужден вручную перепроверять и редактировать каждую строку спецификации, что снижает общий эффект от автоматизации и увеличивает риск человеческой ошибки при проектировании технологического процесса.

В условиях, когда сборка содержит десятки или сотни компонентов, такая ручная постобработка становится значимым фактором, ограничивающим эффективность систем автоматизированного проектирования, особенно на предприятиях малого и среднего машиностроения, где отсутствует интеграция с PLM-системами и дорогостоящие решения класса digital twin остаются недоступными [2].

В этих условиях целесообразным представляется развитие методов локальной автоматизации, направленных на постобработку спецификации с применением набора логических правил, формализующих требования ГОСТ 2.108–2021 к структуре и содержанию документа.

Вопросы автоматизации формирования спецификации как элемента технологической документации рассматриваются в ряде современных исследований. В частности, в работах [3, 4] отмечается, что интеграция CAD- и PLM-систем позволяет достичь высокого уровня формализации данных о компонен-

тах, однако такая интеграция требует значительных финансовых и организационных ресурсов, недоступных для большинства предприятий малого и среднего машиностроения.

Следовательно, роль локальных решений, реализуемых непосредственно в среде CAD-системы, безусловно возрастает.

Как показано в [4], отечественная система КОМПАС-3D обладает встроенной функцией генерации спецификации по ГОСТ 2.108–2021 и поддерживает библиотеку стандартных изделий, что обеспечивает базовый уровень автоматизации [5]. Однако эффективность данного инструмента ограничена отсутствием механизмов семантического анализа метаданных компонентов. В результате, корректность классификации, а следовательно, и соответствие требованиям ЕСКД во многом зависит от дисциплины конструктора при заполнении свойств модели.

С точки зрения системного подхода к автоматизированному проектированию технологических процессов сборки, описанного в [4], задача формирования спецификации находится на пересечении двух ключевых подсистем: «анализ конструкции» и «планирование ресурсов». Первая обеспечивает проверку полноты и корректности состава изделия, вторая – подготовку данных для последующего планирования операций, закупок и комплектования.

Таким образом, автоматизированная спецификация выступает не просто как конструкторский документ, но как информационный мост между проектированием и производством.

В условиях ограниченной интеграции с внешними системами (ERP, PLM) наиболее рациональным представляется метод постобработки структуры сборки на основе анализа текстовых атрибутов компонентов – обозначения и наименования.

Данный подход не требует доступа к сложным метаданным или 3D-геометрии, но использует информацию, которая в любом случае присутствует в модели в соответствии с требованиями ЕСКД. При этом правила классификации могут быть формализованы в виде логических условий, что позволяет реализовать их в виде программного модуля, совместимого с API КОМПАС-3D.

Для повышения достоверности и соответствия требованиям ЕСКД предлагается метод постобработки структуры сборки, основанный на формализованных правилах классификации компонентов. Суть метода заключается в автоматическом определении типа каждого элемента («Деталь», «Сборочная единица», «Стандартное изделие», «Материал» и др.) на основе анализа его обозначения и наименования – атрибутов, обязательных для заполнения в КОМПАС–3D согласно ГОСТ 2.101–2023.

Алгоритм работает следующим образом.

На первом этапе осуществляется извлечение полного перечня компонентов из 3D-сборки через COM-интерфейс КОМПАС–3D. Для каждого компонента считываются поля «Обозначение» и «Наименование».

Далее применяется последовательность логических правил, реализующих требования ГОСТ 2.108–2021 к структуре спецификации.

Например:

– если обозначение начинается с «ГОСТ», «ОСТ», «ISO» или содержит шифр стандарта – компонент относится к разделу «Стандартные изделия»;

– если обозначение содержит точку (например, «АБВ.123.001») и не содержит признаков стандарта – это «Сборочная единица»;

– если наименование содержит слова «болт», «гайка», «шайба», «винт» – компонент также классифицируется как «Стандартное изделие», даже при отсутствии шифра стандарта;

– если наименование включает термины «сталь», «пруток», «лист», «проволока» – компонент относится к разделу «Материалы»;

– все остальные компоненты, не попавшие под вышеуказанные правила, классифицируются как «Детали».

Подобный подход позволяет корректировать ошибки автоматической генерации спецификации, возникающие при некорректном заполнении свойств модели или использовании нештатных библиотек. Результат работы алгоритма – структурированный список компонентов, сгруппированный по разделам в соответствии с требованиями ГОСТ 2.108–2021, готовый к экспорту в формат Excel, XML или PDF.

На рисунке 1 приведен фрагмент программной реализации алгоритма на языке Python, демонстрирующий логику классификации.

```
def classify_component(designation: str, name: str) –str:
    Классифицирует компонент по ГОСТ 2.108–2021 на основе обозначения и
нования.
    Возвращает тип: 'Деталь', 'Сборочная единица', 'Стандартное изделие', 'Матер
    designation = designation.strip().upper()
    name_lower = name.strip().lower()
    # Правило 1: стандартные изделия по шифру стандарта
    if any(std in designation for std in ["ГОСТ", "ОСТ", "ISO", "DIN"]):
    return "Стандартное изделие"
    # Правило 2: стандартные изделия по ключевым словам в наименовании
    std_keywords = ["болт", "гайка", "шайба", "винт", "шпилька", "штифт"]
    if any(kw in name_lower for kw in std_keywords):
    return "Стандартное изделие"
    # Правило 3: материалы
    mat_keywords = ["сталь", "алюминий", "пруток", "лист", "проволока", "труба"
    if any(kw in name_lower for kw in mat_keywords):
    return "Материал"
    # Правило 4: сборочные единицы (по структуре обозначения по ЕСКД)
    if "." in designation and not designation[0].isdigit():
    return "Сборочная единица"
    # По умолчанию – деталь
    return "Деталь"
```

Рисунок 1 – Фрагмент программной реализации алгоритма автоматической классификации компонентов при генерации спецификации

Алгоритм легко расширяется: можно добавить поддержку пользовательских каталогов, проверку по базе БИС или интеграцию с ERP-системой для уточнения типа позиции.

Практическая реализация предложенного метода демонстрирует его применимость в условиях реального проектирования на предприятиях машиностроительного профиля, особенно в сегменте малого и среднего бизнеса.

Важно отметить, что предложенный подход не противоречит, а дополняет встроенные функции КОМПАС-3D, выступая в роли программной надстройки, реализуемой через стандартный COM-интерфейс. Это делает решение масштабируемым: модуль может быть интегрирован в существующие рабочие процессы без изменения лицензионной политики или структуры проектной базы.

С точки зрения системного подхода к автоматизированному проектированию технологических процессов сборки, описанного в [4], реализованный метод укрепляет взаимосвязь между подсистемой «анализ конструкции» и подсистемой «планирование ресурсов», обеспечивая достоверный и стандартизированный поток данных о составе изделия.

Такой подход соответствует принципам поэтапного наращивания цифровой зрелости, характерным для современного машиностроения, где переход к полноценным PLM и ERP-решениям часто экономически нецелесообразен на начальных этапах.

В перспективе разработанный алгоритм может быть расширен за счет интеграции с базами стандартных изделий, поддержки пользовательских каталогов или автоматической генерации XML-выгрузки для последующего импорта в ERP-системы [6].

Таким образом, даже при использовании доступных и широко распространённых CAD-средств, таких как КОМПАС-3D, возможно достижение высокого уровня автоматизации документооборота в рамках проектирования сборочных процессов, что напрямую способствует повышению эффективности и технологичности производства.

Список литературы

1 ГОСТ 2.108–2021. Единая система конструкторской документации. Спецификация изделия. – Введ. 2022-07-01. – М. : Стандартинформ, 2021. – 24 с.

2 Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 456 с. – ISBN 978-5-7038-5690-3.

3 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.

4 Лазарев, К.Е. Модели автоматизированного проектирования сборочных процессов: от 3D-модели к цифровому двойнику / 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. 1883-1887.

5 Авербух, А.Л. Современные CAD-системы: выбор и эффективное применение / А.Л. Авербух. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 528 с. – ISBN 978-5-9775-7285-1.

6 ГОСТ Р ИСО 10303-242–2018. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных о продукции. Часть 242: Механическое проектирование – Правила использования. – М. : Стандартинформ, 2019.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Левочкин И. Е., Галина Л. В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Назначение транспортного хозяйства предприятия – полное удовлетворение потребностей подразделений предприятия в грузоперевозках при максимальном использовании транспортных средств и минимальной себестоимости транспортных операций. Это возможно только на основе интеграции технологических процессов транспорта и производства, согласования их графиков работы, правильной организации транспортного-складского хозяйства предприятия и эффективного планирования грузоперевозок [1].

Производственная деятельность механического цеха требует физического перемещения большого объема разнообразных деталей и заготовок внутри цеха.

Внутри каждого участка между рабочими местами должна осуществляться межоперационная транспортировка заготовок, деталей, сборочных единиц и готовых изделий. Для выполнения этих функций предназначен межоперационный транспорт [2-4].

На предприятиях может применяться разнообразный парк средств транспорта.

По видам транспорта различают:

– рельсовый (железнодорожный узкоколейный);

– безрельсовый (автотранспорт, электротранспорт);

– водный (морской, речной);

– трубопроводный (трубопроводный пневмотранспорт, гравитационные продуктопроводы, нефтепроводы и т. д.);

– специальный (технологический) транспорт;

– и подъемно-транспортные средства (конвейеры, краны, погрузчики, лифты и т. п.).

По способу действия различают транспорт:

– прерывного (например, электропогрузчики);

– и непрерывного действия (например, конвейеры).

По направлению перемещения грузов:

– горизонтальный;

– вертикальный (лифты, подъемники);

– горизонтально-вертикальный (мостовые краны, кран-балки, электропогрузчики);

– и наклонный (наклонные канатные и монорельсовые дороги, конвейеры).

Для внутрицеховых грузоперевозок используются разнообразные средства:

– безрельсового электротранспорта;

– и подъемно-транспортные машины (электропогрузчики и мультикары);

– и специальный (технологический) транспорт.

Технологические процессы транспортирования определяют типаж транспортных средств, а также их количество и технические параметры. Исходными данными для этого являются [4-6]:

– масса груза;

– габаритные размеры груза;

– условия транспортирования грузовых единиц (например, поточное производство);

– схемы грузопотоков;

– временные связи производственных процессов, которые определяются частотой запросов технологического оборудования, накопителей, складов в необходимых заготовках, полуфабрикатах и изделиях.

В поточном производстве движение грузов прямоточно, поэтому временные связи строятся на основе такта выпуска грузов, что значительно упрощает проектирование транспортной системы.

В непоточном производстве временные связи имеют сложный стохастический характер, что затрудняет процесс проектирования. Исходные данные для проектирования транспортной системы имеют вероятностный характер: число деталей в партии запуска, последовательность поступления изделий в производство. Закономерности производственного процесса в непоточном производстве сложны, и часто движение в ходе изготовления изделия в технологических комплексах не определено однозначно.

Под автоматизацией транспортно-складской системы механического цеха следует понимать применение современных технических средств и программного обеспечения, способных реализовать безлюдный режим работы в рамках одной или нескольких смен.

К транспортно-складской системе предъявляется несколько требований:

– необходимо обеспечить компактное и удобное хранение;

– необходимо обеспечить быстрый поиск;

– необходимо обеспечить эргономику рабочих мест;

– необходимо минимизировать ручной труд и «человеческий фактор».

При этом необходимо обеспечить своевременное поступление со складов в цеха в требуемом объеме нужных комплектующих.

Логистическому отделу в первую очередь необходима своевременная и достоверная информация о наличии на складе того или иного компонента, о его передвижениях по складу и по цехам, о товарных остатках и их стоимости.

Удовлетворить все эти требования возможно только одним путём – комплексной автоматизацией транспортно-складского хозяйства.

Автоматизация реализуется по трём ключевым направлениям.

Первое направление это оптимизация полезной площади склада, которая достигается за счёт:

– использования свободного вертикального пространства;

– внедрения современных систем хранения.

Практический результат заключается в том, что при увеличении высоты стеллажей склад способен разместить от 2 до 3 раз больше единиц хранения [6–8].

Второе направление это введение адресного хранения, которое обеспечивает:

– точную локализацию каждого товара;

– сокращение времени на поиск и комплектацию заказов;

– минимизацию ошибок при размещении и отгрузке.

Третье направление это автоматизация складского оборудования. Она включает внедрение:

– систем управления складом (WMS – Warehouse Management System);

– технологий автоматической идентификации:

– штрихкодирования;

– радиочастотной идентификации (RFID).

Эффект от внедрения автоматизации будет представлен в:

– отказе от ручной идентификации товаров;

– росте производительности складских операций;

– повышении точности учёта;

– сокращении трудозатрат;

– увеличении пропускной способности склада.

Технологическое переоснащение складов – это автоматизация и роботизация, внедрение автоматических складских роботов, кранов-штабелеров, транспортных шаттлов или карусельных стоек, и другого подобного оборудования.

Автоматизированные складские системы (Automated Storage and Retrieval Systems – AS/RS) требуют использования управляемых компьютером подъемно-транспортных устройств, которые извлекают изделия со склада по команде и помещают изделия на склад по команде.

В заключении хочется отметить, что автоматизированные складские системы исключают ручной труд, и позволяют эффективно экономить складские помещения, ускоряют операции и улучшают контроль за материально-техническими запасами, поскольку ЭВМ контролирует местонахождение каждого материала или изделия на складе.

Список литературы

1 Каравацкий, И. А. Анализ системы транспортно-складского комплекса предприятия / И. А. Каравацкий // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 96-4. – С. 77-80.

2 Соколова, Я. А. Совершенствование транспортно-складской системы производственного предприятия (на примере ООО «Тиккурила») / Я. А. Соко-

лова // МНСК-2019. Менеджмент: Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2019. – С. 59-60.

3 Васильев, В. А. Транспортно-складские системы машиностроительного предприятия / В. А. Васильев, А. Ю. Овчинников // Материалы XXII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва: Материалы конференции. В 3-х частях, Саранск, 25 сентября – 01. 2018 года / Составитель А.В. Столяров. Ответственный за выпуск П.В. Сенин. Том Часть 1. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. – С. 349-352.

4 Калентьева, М. А. Особенности проектирования транспортно-складских систем / М. А. Калентьева // Вестник молодых ученых Самарского государственного экономического университета. – 2018. – № 2(38). – С. 177-180.

5 Руднева, Л. Ю. Система управления и структуры математического обеспечения автоматизированных транспортно-складских систем машиностроительных производств / Л. Ю. Руднева, А. В. Литвинчук // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2018. – № 10. – С. 458-459.

6 Родина, Т. Е. Логистический подход в системе управления транспортно-складской деятельностью компании / Т. Е. Родина // Логистические системы в глобальной экономике. – 2017. – № 7. – С. 280-283.

7 Анцев, В. Ю. Структурно-параметрический синтез транспортно-складских систем промышленных предприятий / В. Ю. Анцев, А. Н. Шафорост // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции: в 2-х томах, Курск, 17-18 ноября 2015 года / Ответственный редактор: Павлов Е.В.. Том 1. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. – С. 41-45.

8 Автоматизация поиска оптимального варианта автоматизированной транспортно-складской системы / В. А. Полетаев, А. И. Цигельников, В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4(92). – С. 114-117.

ИНТЕГРАЦИЯ OT/IT-ИНФРАСТРУКТУРЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Лухтина О.С., Галина Л.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современные промышленные объекты становятся более автоматизированными: датчики, PLC, SCADA-системы собирают данные в реальном времени, передают их в корпоративные ERP-системы, анализируют в облаке, а управляющие команды приходят даже с мобильных устройств. Это – суть Industry 4.0. Но за удобством скрывается серьёзная уязвимость: OT (операционные технологии), которые раньше работали в изолированных сетях, теперь напрямую связаны с IT-инфраструктурой. И это создаёт новую угрозу – кибератаки, способные остановить производство, повредить оборудование или даже вызвать аварию [1].

Проблема в том, что OT-системы проектировались десятилетия назад – для стабильности, а не для безопасности. Они работают на устаревших ОС (Windows 7, даже XP), используют незашифрованные протоколы (Modbus, DNP3), не имеют антивирусов и не обновляются. А IT-команды, в свою очередь, привыкли к быстрым обновлениям, брандмауэрам и SIEM-системам – но эти подходы не всегда применимы в цеху. Получается: IT хочет защитить, а OT боится меняться из-за риска нарушить непрерывность критически важных процессов [1]. Глубина проблемы: от глобальных атак к цепочке поставок.

Угрозы киберфизическим системам носят комплексный характер. Помимо прямых атак на сети предприятий, таких как знаменитые инциденты с BlackEnergy (2015) или TRITON (2017), растут риски, связанные с цифровой цепочкой поставок. Вредоносное ПО может попасть в OT-среду через обновления легитимного программного обеспечения от поставщиков, через инженерные рабочие станции подрядчиков или даже через «умные» компоненты оборудования, поставляемые с уже внедрёнными уязвимостями. Кроме того, сами производители промышленного оборудования (OEM) нередко используют стандартные пароли для доступа к встроенным сервисам своих устройств, что создаёт универсальные «чёрные ходы» для злоумышленников.

Решение – не в выборе между IT и OT, а в их синергии, основанной на единой методологии.

Подготовительный шаг – оценка и аудит (картирование активов и потоков данных). Прежде чем что-либо сегментировать, необходимо составить полную и актуальную карту всех активов в промышленной сети: от датчиков и приводов до серверов и шлюзов в корпоративную сеть. Необходимо понимать, какие протоколы используются, какие данные и куда передаются, какие существуют физические и логические связи. Без этой карты любые защитные меры будут носить хаотичный характер. Для этого применяются пассивные сканеры,

которые, не вмешиваясь в процесс, анализируют сетевой трафик и автоматически определяют устройства, их модели, версии прошивок и взаимосвязи.

Первый шаг – глубокая сегментация сети (архитектура «демилитаризованной зоны» – Industrial DMZ). Нужно создать чёткие, многоуровневые границы. Ключевой элемент – создание Industrial DMZ (IDMZ) – буферной зоны между корпоративной IT-сетью и производственной OT-сетью. Через IDMZ проходят все разрешённые данные, при этом прямой доступ из офиса в контроллеры или HMI-панели полностью блокируется. В самой OT-среде применяется микросегментация: разделение на функциональные зоны (например, линия окраски, участок сборки, система очистки воды). Это предотвращает перемещение злоумышленника по сети после первоначального взлома.

Для этого используют промышленные межсетевые экраны нового поколения (NGFW) и специализированные шлюзы безопасности (Secure Gateways), например, Tofino (Belden), Fortinet Industrial, Cisco Cyber Vision. Они не ограничиваются простой фильтрацией IP-адресов и портов – вместо этого проводят глубокий анализ промышленных протоколов (DPI – Deep Packet Inspection), распознавая легитимные команды (например, чтение значения температуры от датчика) и блокируя подозрительные действия (такие как несанкционированная перезагрузка PLC или попытка записи произвольных значений в критические регистры контроллера) [2]. Эти устройства должны быть сертифицированы для работы в суровых промышленных условиях (вибрация, температура, EMI-помехи).

Второй шаг – непрерывный мониторинг и обнаружение аномалий (Network Traffic Analysis – NTA). Здесь помогают специализированные платформы вроде Claroty, Nozomi Networks, Dragos: они «обучаются» нормальному поведению сети (baselining) и выявляют отклонения в режиме 24/7. Примеры аномалий: если контроллер внезапно начал инициировать сессии на внешний IP-адрес, если изменилась периодичность опроса датчиков, если появился трафик на нестандартных портах или протоколах. Эти системы интегрируются с платформами управления угрозами для OT (OT Threat Intelligence), которые предоставляют контекст об актуальных угрозах для конкретных моделей оборудования. Такой подход позволил предотвратить целенаправленные атаки на нефтегазовые и энергетические объекты.

Третий шаг – управление уязвимостями и обновлениями (включая «виртуальные патчи»). Нельзя игнорировать устройство, просто потому что оно устарело и не поддерживает обновления. Необходим централизованный реестр всех активов с привязкой к базам уязвимостей (например, CVE, ICS-CERT). Для критических уязвимостей в устаревших системах применяется стратегия компенсирующих мер контроля (Compensating Controls): если PLC нельзя запрограммировать, то промышленный межсетевой экран настраивается на блокировку всех команд, эксплуатирующих данную уязвимость («виртуальный патч»). Планирование «окон обслуживания» становится обязательной практикой, согласованной между IT, OT и производственными службами.

Четвертый шаг – физическая безопасность и контроль съёмных носителей. Оборудование в цехах должно быть защищено от несанкционированного физического доступа. Шкафы управления должны опечатываться, порты USB и Ethernet на критических устройствах – блокироваться специальными заглушками. Для передачи данных следует использовать отведённые, строго контролируемые инженерные станции с продвинутой защитой от вредоносных программ, либо специализированные системы безопасного переноса данных, которые автоматически проверяют все файлы перед загрузкой в контур АСУ ТП.

Пятый шаг – создание Центра операционной безопасности (SOC для OT) и инцидент-менеджмент. Мониторинг IT и OT должен быть объединён в рамках единого центра управления безопасностью (Fusion SOC), где аналитики, понимающие специфику промышленных протоколов, работают в связке с IT-специалистами. Необходимо разработать и регулярно отрабатывать планы реагирования на инциденты (IRP), специфичные для OT. Эти планы должны чётко определять: порядок оповещения, приоритеты при спасении (безопасность людей – сохранение экологии – целостность оборудования – непрерывность производства – целостность данных), процедуры изоляции сегментов без остановки всего производства, а также механизмы ручного аварийного перевода технологического процесса в безопасный режим.

Ключевой фактор – люди, процессы и корпоративная культура. Даже идеальная техника не спасёт, если оператор подключит флешку с вирусом или инженер-подрядчик использует стандартный пароль для настройки PLC. Поэтому необходима целевая программа кибергигиены для инженерно-технического персонала. Тренинги должны быть регулярными, практико-ориентированными и включать симуляции фишинговых атак и инцидентов. Нужны чёткие, утверждённые руководством инструкции и регламенты: политика паролей, правила использования внешних носителей, порядок доступа подрядчиков. Важно преодолеть культурный разрыв между IT и OT через создание кросс-функциональных команд (Center of Excellence), где обе стороны учатся говорить на одном языке.

Шестой шаг – интеграция безопасности в жизненный цикл оборудования (Security by Design). Защиту нельзя «прикрутить» постфактум. Требования к кибербезопасности должны быть включены в технические задания на закупку нового оборудования и модернизацию существующего. Вендоры должны предоставлять «паспорта кибербезопасности» для своих устройств, описывающие встроенные защитные механизмы, поддерживаемые протоколы шифрования и аутентификации, а также жизненный цикл поддержки. На этапе ввода в эксплуатацию (Commissioning) безопасная конфигурация (hardening) устройств должна быть стандартной процедурой.

Интеграция OT и IT – это не просто технологический тренд. Это стратегическая необходимость для выживания в эпоху цифровой трансформации. Производство – не серверный центр. Здесь ошибка стоит неизмеримо дороже: миллионы рублей упущенной выгоды, многодневные простои, невосполнимый ущерб репутации, экологические катастрофы, а иногда – человеческие жизни.

Кибербезопасность на производстве – это не разовый проект, а непрерывный и итерационный процесс, требующий сбалансированного внедрения передовых технологий, отлаженных организационных процессов и, главное, формирования новой культуры осознания киберрисков на всех уровнях – от оператора у конвейера до генерального директора. Будущее за киберфизически устойчивыми предприятиями, способными не только противостоять атакам, но и быстро восстанавливать нормальную работу после них. Начало этого пути – в признании проблемы и готовности к системной работе сегодня.

Список литературы

1 Кузнецов, В.А. Кибербезопасность: основы защиты информации: учебное пособие / В. Кузнецов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 288 с.: ил. – ISBN 978-5-91298-112-3.

2 Шишов, О. В. Современные технологии промышленной автоматизации: учебное пособие/ О.В. Шишов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 415 с. – ISSN 2071-1565.

3 ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования / Росстандарт. – М.: Стандартинформ, 2023. – 64 с. – ISBN 978-5-98740-123-4.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РЕЗЕРВУАРА РВС-3000 ДЛЯ ХРАНЕНИЯ АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА

Людвиг К.П., Клещарева Г.А. канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В статье рассматриваются комплексные методы оценки технического состояния, прочностных характеристик и определения остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров (РВС), на примере типового резервуара РВС-3000, используемого для хранения авиационного керосина. Подчеркивается важность регулярного диагностирования в связи с агрессивностью среды, циклическими нагрузками и требованиями экологической безопасности. Приводятся основные этапы обследования, методики расчета и факторы, влияющие на остаточный срок безопасной эксплуатации [1].

Резервуар РВС-3000 (стальной вертикальный цилиндрический резервуар номинальным объемом 3000 м³) является ключевым звеном в логистической цепочке обеспечения авиационным топливом. Хранение авиакеросина (ТС-1, РТ, Jet A-1) предъявляет повышенные требования к герметичности и сохранности качества продукта. В процессе длительной эксплуатации (часто превышающей 30-40 лет) металлоконструкции резервуара подвергаются комплексу деградационных процессов [2].

Коррозия: как с внутренней стороны (от топлива, содержащего растворенную воду и микробиологические загрязнения), так и с внешней (атмосферная коррозия под изоляцией и окраской) [3].

Циклические нагрузки: от изменения уровня продукта, температурных расширений/сжатий, приводящих к усталости металла.

Статические нагрузки: постоянное давление столба жидкости, особенно в нижних поясах и зоне установки закладных деталей.

Деформации основания: неравномерные осадки, приводящие к перекосу корпуса и искривлению стенки.

Своевременная и грамотная оценка прочности и остаточного ресурса позволяет предотвратить аварии, минимизировать экологические риски и оптимизировать затраты на ремонт или замену объекта.

Перед проведением расчетов необходимо выявить и количественно оценить дефекты. В таблице 1 представлены наиболее встречаемые неисправности и дефекты во время эксплуатации резервуаров.

Оценка прочности и остаточного ресурса проводится в несколько этапов в соответствии с требованиями российских стандартов (ГОСТ Р 53201-2008, РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04, ПБ 03-605-03) и международных норм (API 653) .

Таблица 1– Возможные причины выхода из строя резервуара

№ п/п	Наименование неисправности	Причина	Способ устранения
1	Коррозия	Образование агрессивной химической среды	Удаление коррозии, зачистка участка и нанесение ЛКП с антикоррозионным составом
2	Трещины в зонах концентраторов напряжений	Нарушение технологии сварного шва при монтаже конструкции. Так же образование непроваров, подрезов, пор	Проваривание шва или вырезание участка с дефектом и вваривание нового
3	Отступления от геометрической формы	Деформация от внешних воздействий, погибы (вмятины)	Своевременное обнаружение, наблюдение и исключение концентраторов напряжений

Этап 1. Подготовительный и визуально-измерительный контроль (ВИК).

Освобождение, очистка и дегазация резервуара.

Детальный осмотр всех элементов.

Измерение геометрии (вертикальность, овальность, профиль днища).

Этап 2. Неразрушающий контроль (НК) – ключевой этап сбора данных.

Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ): сплошной или выборочный замер толщины стенок поясов, днища и крыши. Создается карта коррозии.

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД): контроль сварных швов на наличие трещин, непроваров, пор.

Капиллярный контроль (ПВК): выявление поверхностных трещин в зонах концентрации напряжений.

Визуальный контроль днища и стенок: часто совмещается с измерительными приборами (профилографами).

Этап 3. Расчет на прочность.

Оценка несущей способности корпуса (стенки): на основе данных УЗТ для каждого пояса вычисляется фактический запас прочности.

Оценка устойчивости стенки: проверка верхних поясов на возможность потери устойчивости (смятия) при вакууме или ветровой нагрузке.

Оценка прочности анкерных болтов и фундамента (при наличии).

Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) методом конечных элементов (МКЭ): для сложных случаев (большие деформации, анализ зон патрубков). Позволяет построить цветовую карту напряжений и выявить критические области.

Этап 4. Определение остаточного ресурса.

Остаточный ресурс (срок безопасной эксплуатации) определяется двумя основными путями:

1) по скорости коррозии (наиболее распространенный метод для корпуса и днища): рассчитывается средняя скорость коррозии на основе разницы между первоначальной (паспортной) толщиной и текущей минимальной за известный срок эксплуатации [4].

Остаточный ресурс (лет) определяется, исходя из минимально допустимой толщины и прогнозируемой скорости коррозии:

Важно! Используется не средняя, а максимальная скорость коррозии на наиболее пораженном участке. Применяются поправочные коэффициенты на агрессивность среды и эффективность защиты.

2) по циклической долговечности (усталостной прочности): актуально для зон с концентраторами напряжений (швы, патрубки), испытывающих циклическое нагружение от изменения уровня.

На основе данных МКЭ или номинальных напряжений, с учетом количества нагружающих циклов в год, рассчитывается усталостный ресурс по кривым Веллера (например, согласно Eurocode 3 или ASME BPVC).

Итоговый остаточный ресурс резервуара принимается по наихудшему (минимальному) значению, полученному для различных элементов и по различным методикам [5].

Для резервуара РВС-3000 с авиакеросином критически важным является контроль толщины первого пояса и зоны шва первого пояса с днищем, а также состояния окрайков днища.

Определение остаточного ресурса – не разовое мероприятие, а динамический процесс. Результаты оценки должны ложиться в основу:

а) программы мониторинга: увеличение частоты контроля для зон с высокой скоростью коррозии;

б) программы ремонта: планирование замены наиболее изношенных листов, поясов или ремонта днища.

Список литературы

1 СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

2 ГОСТ 31385-2023. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия

3 ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

4 РД 08-95-2007. Правила проведения диагностирования технического состояния стальных вертикальных резервуаров.

5 РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. Инструкция по обследованию и оценке остаточного ресурса резервуаров.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

[1]Магдин А.Г., канд. техн. наук, Горбунов А.А., канд. техн. наук, доцент, Калинина И.С., канд. техн. наук,
[2]Припадчев А.Д., д-р техн. наук, профессор
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
[2]ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

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. Что-бы обосновать это утверждение целесообразно, например проследить развитие понятий и методов, используемых при исследовании процессов управления, реализуемых экипажем летательных аппаратов (ЛА).

Функциональное исследование рассматривает два независимых канала – канал восприятия и обработки информации и канал действия, т.е. не учитываются психофизиологические способности к одновременным действиям, позволяющие человеку-оператору осуществлять совмещенную деятельность. Еще одной парой условий являются требования, чтобы при переходе к одноканальному управлению предельными являлись случаи, характеризуемые равенствами типа

$$V_{\text{в.р}}(t) \equiv 1 \text{ и } V_{\text{у.л}}(t) \equiv 1. \qquad (1)$$

На перечисленных соображений можно предложить представление функционала $F(\ldots)$ в виде равенств

$$m^2[V_{\text{в.р1}}(t)] + m^2\left[V_{\text{в.р2}}(t)\right] = 1, \quad (2)$$

$$m^2[V_{\text{у.л1}}(t)] + m^2\left[V_{\text{у.л2}}(t)\right] = 1. \quad (3)$$

Оно в какой-то степени подтверждается экспериментальными данными, но для случаев, когда все составляющие вектора $\bar{V}$ удовлетворяют условиям

$$0 < V_{\text{в.р1}}, V_{\text{в.р2}} < 1, 0 < V_{\text{у.л1}}, V_{\text{у.л2}} < 1. \quad (4)$$

Окончательное решение этой задачи требует более обширных и специальных вычислений.

Еще более сложным является случай управления одним человеком-оператором параллельно тремя и более каналами при высоких уровнях возмущаемости каждого из них. Для реализации такого управления имеются технические возможности, однако широкое практическое изучение подобного управления не проводилось.

Другим подходом к определению предельных возможностей деятельности в отличии от рассмотренного выше и базирующегося на предельных возможностях мгновенной деятельности (на достаточно коротких интервалах времени) является подход, где условными предельными являются характеристики вариабильности управления с требуемым качеством в течении данного времени. В этом случае необходимо после расчета вариабильности перейти к расчету реальной деятельности с учетом изменения характеристик оператора во временном плане ввиду продолжительного выполнения управления с данной интенсивностью [3, 4].

Для одноканального управления экспериментально $V_{пр}$, вычисляют по формуле

$$V_{\text{пр}} = f(t_0|m|[V] = V_{\text{пр}}). \quad (5)$$

Физически это будет означать, что при управлении объектом, характеризуемым вариабильностью $V_{пр}$, в течении времени t_0 летчик будет в состоянии обеспечить требуемое качество с определенной вероятностью $\mathrm{P}(t \leq t_0) \geq P_0$, а затем эта вероятность уменьшится, т.е. $\mathrm{P}(t > t_0) < P_0$.

При многоканальном управлении можно воспользоваться тем обстоятельством, что один из каналов является доминирующим по вариабильности и тогда для него вводим зависимость вида

$$V^*_{1\text{пр}} = f^*(t^*_0|m|[V_1], m|V_2| = const). \quad (6)$$

Рассмотренные требования к характеристикам вариабильности объектов, которые могут быть обслужены одним человеком-оператором, является верхней оценкой, определяющей полное использование возможностей человека.

Однако в нормальных условиях полета обслуживаемые оператором объекты должны характеризоваться некоторыми оптимальными уровнями вариабильности. Поэтому можно считать, что расчет деятельности при управлении объектами с непрерывными характеристиками должен содержать следующие элементы:

– определение соответствия предлагаемой занятости члена экипажа оптимальным значениям;

– оценку того, что максимальная потребная занятость на кратковременном или длительном (определенной длительности) полете не превысит допустимых пределов.

Для особых случаев полета, когда достигаются предельные возмущения в отдельных циклах, возникают отказы средств автоматики, в результате которых необходим переход на ручное пилотирование, расчеты должны касаться динамики, т.е. закономерностей изменения управляемых параметров во времени. При этом оценивается, в какой степени управляемость способна компенсировать возмущаемость.

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: 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.

БУДУЩЕЕ ЗА МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕМ: ПОЧЕМУ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗМЕНЯЮТ МИР

Максюков А.В., Захватов Д. М.,
Свиденко Е.В., канд.техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Вся история человечества неразрывно связана с материалами, которые оно использует. Каменный век, бронзовый, железный... Сегодня мы стоим на пороге новой эры – эры композитных материалов [1-5]. Это не просто еще один этап, а настоящая революция, которая переопределяет границы возможного в технологиях, строительстве, медицине и повседневной жизни. И ключ к этой революции – наука материаловедение.

Проще говоря, композит – это материал, состоящий из двух или более компонентов с различными свойствами, которые вместе создают новый материал, превосходящий по характеристикам каждый из них по отдельности.

Классическая аналогия – железобетон. Хрупкий бетон работает на сжатие, а стальная арматура – на растяжение. Вместе они образуют прочный конструкционный материал.

Таблица 1 – Свойства основных конструкционных материалов

Материал	Плотность ρ, кг/м^3	Прочность при растяжении $\sigma_р$, МПа	Модуль упругости при растяжении E,ГПа	Удельная прочность при растяжении, $\frac{\sigma_р}{\rho} \cdot 10^{-4}$, м^2/с^2	Удельная жесткость, $\frac{E}{\rho} 10^3$, м	Коэффициент линейного теплового расширения, (20…200 ºС) 10^{-6} К$^{-1}$
Углепластик	1500	1200	170	80	11300	3,5…4,5
Боропластик	200	1200	270	60	13550	Продольный 4,1…5,4 Поперечный 19…35
Органопластик	1300	2000	95	154	7300	3,5…4,5
Стеклопластик	2000	2000	70	100	3500	5,6…8,6
Алюминиевые сплавы	2700	600	70	22	2600	24
Титановые сплавы	4500	1100	110	24,5	2430	8,6
Стали	7800	2100	200	26,8	2580	12

Современные композиты ушли далеко вперед [6-10]. Их основу составляет матрица (часто полимерная, металлическая или керамическая), которая обеспечивает форму и передачу нагрузок, и армирующий наполнитель (волокна углерода, стекла, арамида), который придает материалу прочность и жесткость.

Ключевые преимущества композитов:

– высочайшая удельная прочность и жесткость. Они прочнее стали, но при этом в несколько раз легче;

– коррозионная стойкость. Не ржавеют и не подвержены разрушению под воздействием агрессивных сред;

– усталостная прочность. Выдерживают большое количество циклов нагрузки без разрушения;

– гибкость проектирования. Свойства материала можно «программировать», ориентируя волокна в направлениях будущих нагрузок.

Применение композитных материалов:

1 Авиация и космонавтика

Боинг 787 Dreamliner и Airbus A350 более чем на 50 % состоят из композитных материалов, пример использования представлен на рисунке 1 и рисунке 2. Это позволило резко снизить массу самолетов (до 25 – 35 % массы пустого самолета), что привело к колоссальной экономии топлива (до 20%), увеличению дальности полетов и снижению выбросов. Прочность как у стали, плотность как у пластика. Это главный источник экономии веса. Не подвержены коррозии и усталости, как металлы. Меньше непредвиденных трещин. В космонавтике, где каждый килограмм на орбите стоит огромных денег, композиты – не роскошь, а необходимость.

Рисунок 1 – Конструкция типового киля самолета семейства EADS Airbus

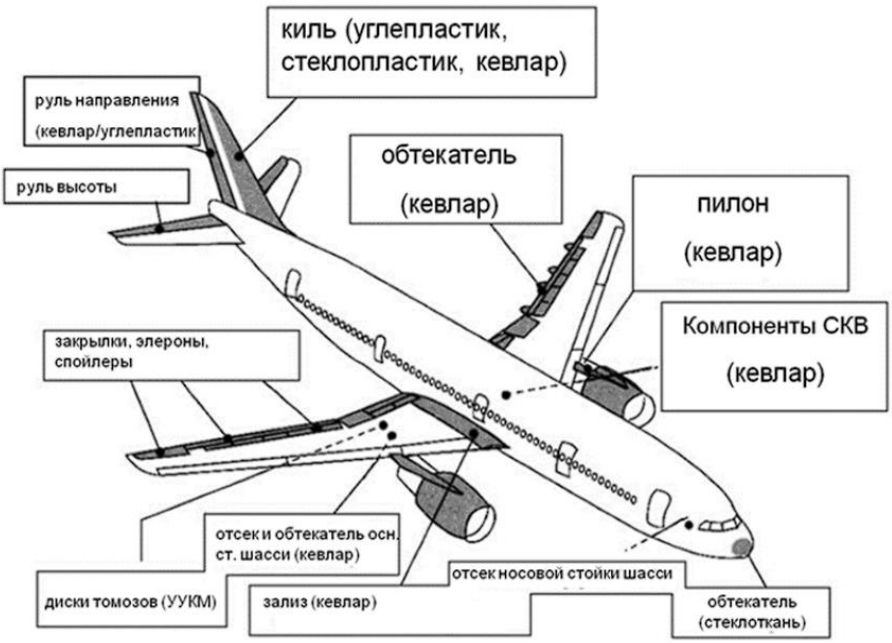


Рисунок 2 – Использование КМ в современном пассажирском самолете

2 Автомобильная промышленность и транспорт

Эра электромобилей ускорила внедрение композитов. Более легкий кузов означает большую дальность хода на одном заряде батареи. Суперкары, такие как модели от McLaren или Bugatti, уже немыслимы без углепластиковых монококов. В ближайшем будущем композиты станут стандартом и для массового сегмента.

3 Строительство и инфраструктура

Ключевое преимущество композитной арматуры – это абсолютная стойкость к коррозии, что критически важно в мостостроении, гидротехнических сооружениях, пристройках к химическим производствам. Также она диэлектрична (таблица 2). Углеволоконные ленты и ткани используются для усиления старых зданий, мостов и опор, многократно увеличивая их сейсмостойкость и срок службы без громоздких реконструкций.

Таблица 2 – Сравнение характеристик композитной и стальной арматуры

Материал	Металлическая арматура	Стеклопластиковая арматура
1	2	3
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	12000
Модуль упругости, МПа	200000	55000
Относительное удлинение	25 %	2,2 %
Поведение на излом	Деформация	Разрушение
Плотность, т/м^3	7	1.9

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Коррозионная стойкость к агрессивным средам	Подвержена коррозии	Не подвержена, химически стойкий к щелочной среде бетона
Теплопроводность	Теплопроводна	Не теплопроводна
Электропроводность	Электропроводна	Не электропроводна

4. Энергетика

Лопасти гигантских ветрогенераторов – это целиком композитные конструкции. Только они могут быть достаточно прочными, легкими и аэродинамически эффективными. Композиты также используются в производстве водородных баллонов высокого давления и элементов солнечных батарей.

5. Медицина и биотехнологии

Биосовместимые композиты используются для создания протезов и имплантатов, которые прочнее и легче титановых. Углеволокно в ортопедии позволяет создавать легкие и прочные инвалидные коляски, шины и экзоскелеты. Перспективно направление биоразлагаемых композитов для восстановления костных тканей.

6. Спорт и товары народного потребления

Теннисные ракетки, велосипеды, хоккейные клюшки, лыжи – везде, где требуется соотношение прочности и легкости, царят композиты. Даже корпуса современных ноутбуков и смартфонов все чаще делают из углепластика.

Несмотря на успехи, перед материаловедением стоят серьезные задачи:

– высокая стоимость. Производство композитов, особенно из углеродного волокна, остается дорогим;

– сложность утилизации. Традиционные термореактивные композиты сложно переработать. Это стимулирует развитие термопластичных композитов и новых методов рециклинга;

– скорость производства. Технологии, такие как автоматическая укладка волокна и 3D-печать композитами, призваны ускорить и удешевить процесс.

Будущее за «умными» и гибридными материалами. Ученые уже работают над композитами, которые могут:

– «Чувствовать» повреждения. Встроенные сенсоры будут сообщать о микротрещинах до катастрофического разрушения;

– «Залечивать» себя. Капсулы с healing-агентом внутри материала будут вскрываться при повреждении и «латать» трещину;

– менять форму. Адаптивные конструкции, например, в авиации, смогут оптимизировать свою форму в полете для максимальной эффективности.

Материаловедение – это двигатель технологического прогресса. Композитные материалы – это его самый яркий и перспективный инструмент. Они позволяют инженерам воплощать в жизнь проекты, которые еще вчера считались научной фантастикой.

Будущее действительно за материаловедением, потому что, создавая новые материалы, мы создаем новое будущее. И это будущее будет легким, прочным, эффективным и, без сомнения, композитным.

Список литературы

1 Каблов, Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России / Е.Н. Каблов // Металлы Евразии. – 2012. – №3. – С. 10-15.

2 Каблов, Е.Н. Авиакосмическое материаловедение / Е.Н. Каблов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2008. – №3. – С. 2–14.

3 Каблов, Е.Н. Композиты: сегодня и завтра / Е.Н. Каблов // Металлы Евразии. – 2015. – №1. – С. 36–39.

4 Каблов, Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигатель» / Е.Н. Каблов // Пермские авиационные двигатели: информ. бюл. – 2014. – №31. –С. 43–47.

5 Гращенков, Д.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов / Д.В. Гращенков, Л.В. Чурсова // Авиационные материалы и технологии. – 2012. –№S. – С. 231–242.

6 Батаев, А.А. Композиционные материалы. Строение, получение, применение / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2002. – 367 с.

7 Зиновьев, П.А. Оптимальное проектирование композитных материалов / П.А. Зиновьев, А.А. Смердов. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 103 с.

8 Любимова, О.Н. Армирующие элементы на основе стеклометаллокомпозита: анализ целесообразности их внедрения / О.Н. Любимова, Е.В. Любимов, Андреев В.В.; Политехнический институт ДВФУ. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. – 117 с.

9 Кузина, А.А. Композиционные материалы / А.А. Кузина. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 64 с.

10 Нилов, А.С. Композиционные материалы. Классификация, технологии, опыт применения / А.С. Нилов, В.И. Кулик. – Москва; Вологда, 2024. – 428 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10-ХОМ

Максюков А.В., Захватов Д. М., Свиденко Е.В., канд.техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Обработка металлов резанием – это один из наиболее распространенных методов формообразования деталей, несмотря на значительное развитие альтернативных способов, таких как литье, ковка, штамповка и прессование. Этот метод остается ведущим завершающим процессом производства машин и приборов, что объясняется его универсальностью и возможностью достижения высокого класса точности и шероховатости обработанных поверхностей.

Более 90 лет назад, когда в нашей стране впервые начали применять спеченные твердые сплавы, была отмечена значительная неоднородность их качества, полностью не устраненная вплоть до настоящего времени. Пластины одной марки сплава в одинаковых условиях работы различались по эксплуатационной стойкости в 3-5 раз в зависимости от состава и условий их спекания. Связано это с изготовлением изделий из спеченных твердых сплавов, которое характеризуется сложностью технологических процессов и большим числом (более 30) производственных переделов и операций, каждая из которых в какой-то мере влияет на качество полуфабрикатов и в конечном счете на качество и однородность твердых сплавов. Заключительная операция спекание сплавов наиболее ответственная и сложная, она оказывает наибольшее влияние на свойства сплавов и их однородность. На разных этапах спекания в зависимости от состава газовой среды и твердосплавной смеси в прессовках протекают многочисленные недостаточно изученные самопроизвольные физико-химические процессы, сильно осложняющие спекание сплавов и существенно влияющие на их состав, структуру и свойства [1-4].

Цель данной работы заключается в анализе типичных дефектов микроструктуры сплавов WC-Co, применяемых в производстве режущего инструмента, описании причин их возникновения и влиянии на физико-механические свойства.

Исследование микроструктуры твердого сплава проводилось на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM 6390 (рисунок 1).

Основным материалом, исследуемым в данной работе, являются спеченные твердосплавные пластины ВК10-ХОМ, с содержанием кобальта равным 10 % масс соответственно.

Физико-механические испытания образцов для режущего инструмента измеряли: предел прочности при поперечном изгибе (по ГОСТ 20019–74), твердость по шкале Роквелла HRA (по ГОСТ 20017–74), плотность (по ГОСТ 20018–74). Физико-механические свойства представлены в таблице 1.

Один из дефектов, образовавшийся в процессе производства пластин твердого сплава, который негативно сказывается на физико-механических свойствах, ухудшая твердость, прочность на поперечный изгиб. Размер крупных кристаллов карбида вольфрама превышает в три и более раза средний размер. Крупные кристаллы разрушаются быстрее, чем мелкие, что снижает эксплуатационные характеристики сплава [5-7].

Причины возникновения:

– использование смешанного порошка WC, содержащего мелкую и крупную фракции;

– перекристаллизация мелких зерен на крупные при спекании;

– неправильные условия спекания (температура, время выдержки, скорость охлаждения).

Таблица 1 – Физико-механические свойства с дефектом крупный кристалл карбида вольфрама

Твердый сплав ВК	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, кгс/мм^2	Плотность, г/см^3	Твердость, HRA
ВК10-ХОМ (ГОСТ 3882-74)	не менее 150	14,3-14,7	не менее 89
ВК10-ХОМ (крупный кристалл)	151	14,53	87,4

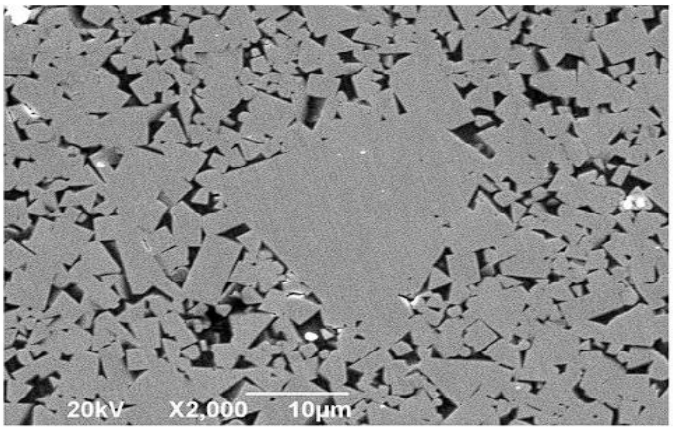


Рисунок 1 – Микроструктура ВК10-ХОМ крупный кристалл карбида вольфрама (х2000)

Компаундирование (скопление кобальта, β-фаза) – дефект структуры твёрдых сплавов на основе карбида вольфрама и кобальта (ВК). Это неравномерное распределение связующего (кобальта) в сплаве, что приводит к обезбоченным соседним областям.

Причины возникновения: плохое перемешивание компонентов твердосплавной смеси. Это приводит к появлению «кобальтовых озёр» – большой

концентрации связующего в определённой зоне сплава, при этом где-то есть места, обеднённые кобальтом. Из-за неравномерного распределения кобальта в местах, где его недостаточное содержание или он полностью отсутствует с большей вероятностью может произойти зарождение и распространение трещины под нагрузкой. Физико-механические свойства с дефектом компаундирование представлены в таблице 2, микроструктура образца после компаундирование представлена на рисунке 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства с дефектом компаундирование

Твердый сплав ВК	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, кгс/мм^2	Плотность, г/см^3	Твердость, HRA
ВК10-ХОМ (ГОСТ 3882-74)	не менее 150	14,3-14,7	не менее 89
ВК10-ХОМ (компаудирование)	150	14,53	86,8

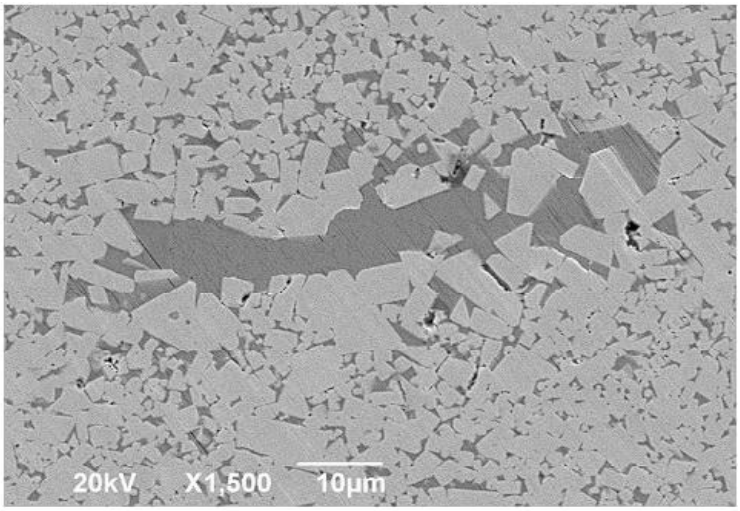


Рисунок 2 – Микроструктура ВК10ХОМ компаундирование (х1500)

Пористость в структуре WC-Co, особенно углеродная, является концентратором напряжений, что снижает эксплуатационные характеристики инструмента. Концентрация напряжения на границах пор малого размера приравнивает их к микротрещинам, этим обусловлено их основное влияние на снижение прочности сплава (таблица 3). Поры размером 25 мкм уже считаются крупными.

Основными факторами образования пор являются:

– загрязнение порошков (попадание в смесь пыли, частиц бетона, металла и др.);

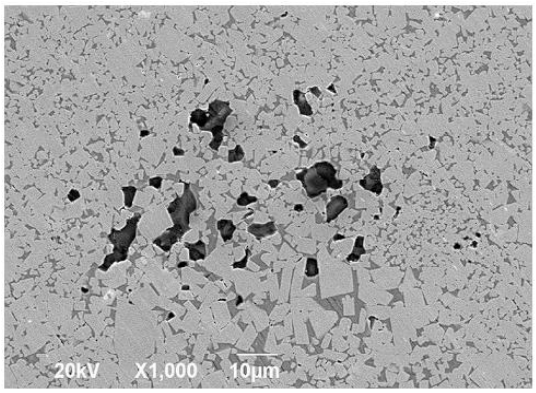
– недостаточный размол зёрен;

– неоднородность материала (неравномерное распределение кобальта вследствие плохого перемешивания);

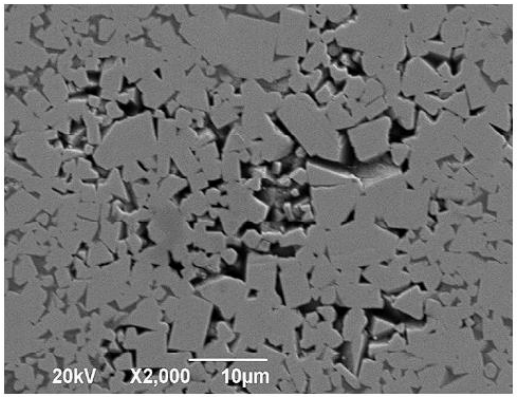
– недоспекание и недопрессование заготовок;

– присутствие избыточного углерода в свободном виде и в атмосфере печи спекания.

Микроструктура твердого сплава ВК10-ХОМ представлена на рисунке 3.



а



б

а – пористость (х1000); б – свободный углерод (х2000).

Рисунок 3 – Микроструктура ВК10-ХОМ

Таблица 3 – Физико-механические свойства с дефектом пористость

Твердый сплав ВК	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, кгс/мм^2	Плотность, г/см^3	Твердость, HRA
ВК10-ХОМ (ГОСТ 3882-74)	не менее 150	14,3-14,7	не менее 89
ВК10-ХОМ (пористоть)	151	14,41	87,8

Образование η-фазы происходит из-за высокой скорости нагрева и малого времени выдержки в момент спекания. Это приводит к восстановлению оксида во внутренних слоях изделия за счёт углерода WC, что в итоге вызывает обезуглероживание сплава и формирование хрупкой фазы с формулой Co3W3C.

Причины возникновения:

– высокая скорость нагрева и малое время выдержки при спекании;

– обезуглероживание сплава из-за восстановления оксидов кобальта.

Физико-механические свойства с дефектом η-фазы приведены в таблице 4, микроструктура на рисунке 4.

Таблица 4 – Физико-механические свойства с дефектом η-фаз

Твердый сплав ВК	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, кгс/мм^2	Плотность, г/см^3	Твердость, HRA
ВК10-ХОМ (ГОСТ 3882-74)	не менее 150	14,3-14,7	не менее 89
ВК10-ХОМ (η-фаза)	158	14,92	91,2

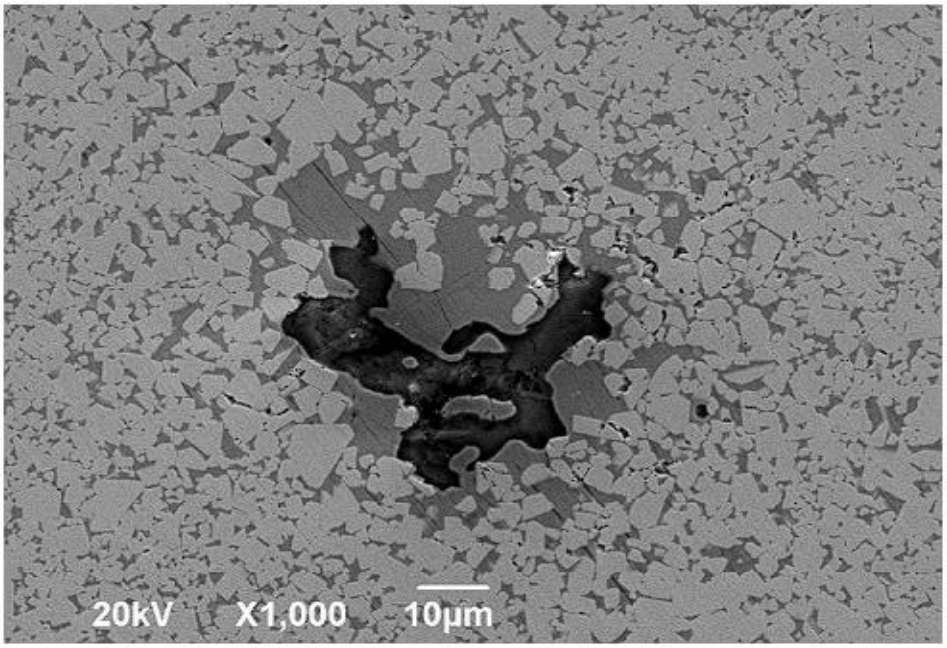


Рисунок 4 – Микроструктура ВК10-ХОМ η-фаза (х1000)

Исследование показало, что наличие вышеуказанных дефектов негативно сказывается на физико-механических свойствах и трещиностойкости вольфрамокобальтовых сплавов. Характеристики не соответствуют требованиям ГОСТ 3882-74. Некоторые дефекты вольфрамокобальтового сплава, которые влияют на трещиностойкость и распространение трещин:

– крупный кристалл. Является концентратором напряжения в структуре, что облегчает процесс распространения трещины;

– компаундирование. Скопление кобальта в одной области обедняет соседние области сплава, что ослабляет связку между зёрнами и не препятствует дальнейшему образованию трещины;

– наличие η-фазы и свободного углерода. Также являются концентраторами напряжения и охрупчивают структуру вольфрамокобальтового сплава.

Для снижения неоднородности микроструктуры в твёрдых сплавах марки ВК и улучшения качества используют:

– метод многостадийного спекания – позволяет не допустить появления крупных кристаллов и их скоплений;

– нормализующее спекание в засыпке с добавлением углерода – например, для исправления дефекта η-фазы;

– использование азота в процессе спекания карбида вольфрама (WC) снижает рост зёрен за счёт замедления перекристаллизации частиц через жидкую фазу, которая обычно приводит к росту зёрен;

– применение органических пластификаторов на операции прессования - они влияют на процесс прессования и предварительное спекание, что снижает неоднородность свойств изделий.

Эти меры позволят повысить надежность и долговечность твердосплавного режущего инструмента, обеспечивая конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

Список литературы

1 Шарапова, В.А. Композиционные материалы специального назначения: учебное пособие / В.А. Шарапова; Мин-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 147 с.

2 Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учебное пособие для вузов / В.С. Панов, А.М. Чувилин. – М: МИСИС, 2001. – 428 с.

3 Панов, В.С. Твердые сплавы: учебник / В.С. Панов, И.Ю. Коняшин, Е.А. Левашов, А.А. Зайцев. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд. ДомНИТУ «МИСиС», 2019. – 398 с.

4 Самсонов, Г. В. Карбиды вольфрама / Г. В. Самсонов, В. К. Витрянюк, Ф. И. Чаплыгин. – Киев : Наукова думка, 1974. – 176 с.

5 Волкогон, Г.М. Современные процессы порошковой металлургии: учебное пособие / Г.М. Волкогон, Ж.В. Еремеева, Д.А. Дедовской. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. –206 с.

6 Лошак, М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов / М.Г. Лошак. – Киев: Наукова думка, 1984. – 328 с.

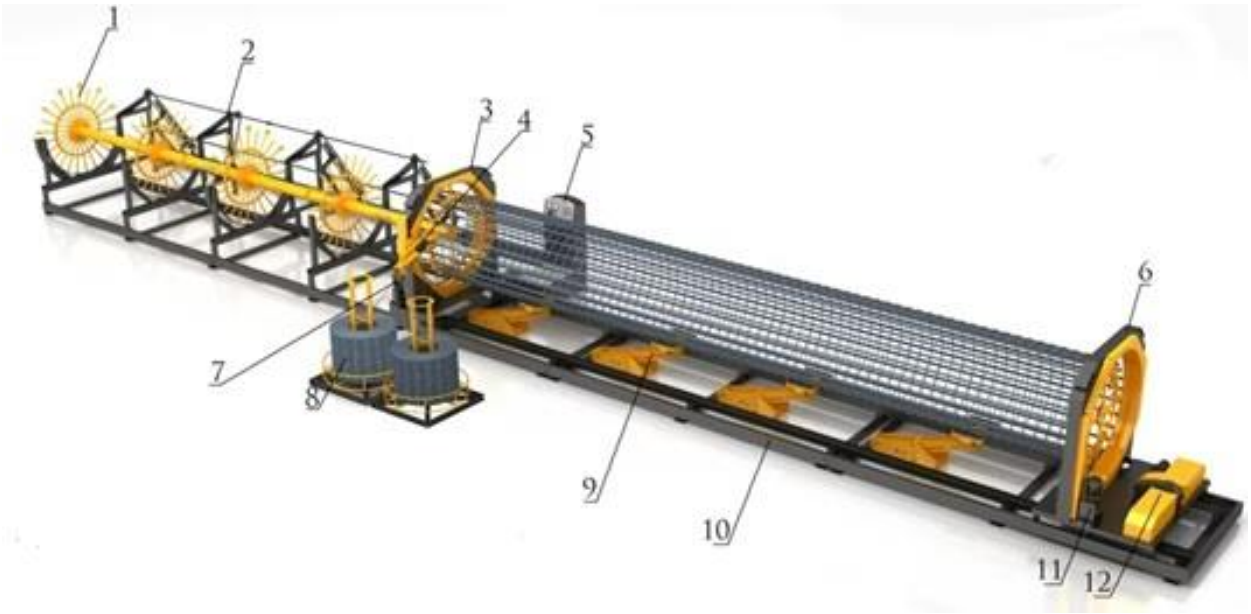
7 Лошак, М.Г. Упрочнение твердых сплавов / М.Г. Лошак, Л.И. Александров; под ред. В.Н. Бакуля. АН УССР, Институт сверхтвердых материалов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 147 с.

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СВАРНЫХ АРМАТУРНЫХ КАРКАСОВ

Марусич К.В., канд. техн. наук, доцент, Бондаренко Н.Д.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В Аэрокосмическом институте Оренбургского государственного университета в рамках направления подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (профиль – Технология автоматизированного машиностроения) разрабатывается проект роботизированного комплекса по производству сварных арматурных каркасов.

За основу разрабатываемого роботизированного комплекса был принят станок для изготовления арматурных каркасов SGH 20-12 [1, 2]. На рисунке 1 представлена компоновка роботизированного комплекса SGH 20-12.



1 – труба распределения материала; 2 – основная рама загрузки материала; 3 – диск фиксации; 4 – система правки арматуры; 5 – пульт управления; 6 – диск подвижный; 7 – привод вращения диска фиксации; 8 – бухтодержатель; 9 – опоры гидравлические; 10 – направляющие; 11 – привод вращения подвижного диска; 12 – привод перемещения подвижного диска.
Рисунок 1 – Компоновка роботизированного комплекса SGH 20-12

Труба распределения материала *1* служит направляющим и разделительным каналом. Она предотвращает хаотичное спадание витков прутка с бухтодержателя *8* и обеспечивает организованную (без перехлёстов) подачу разма-

тываемого прутка в зону правки. Конструкция трубы выполняется сборной или телескопической для адаптации под разную толщину прутка.

Основная рама загрузки материала *2* является несущим силовым каркасом для всего модуля подачи. На ней монтируются бухтодержатель, направляющие трубы и, часто, предварительные направляющие ролики. Рама обеспечивает устойчивость, воспринимает динамические нагрузки от вращения тяжёлой бухты и вибрации при правке.

Диск фиксации *3* – первый ключевой элемент системы захвата. На его периферии расположены зажимные губки (гидравлические или пневматические). Диск фиксации жёстко зафиксирует пруток после его выхода из системы правки.

Система правки арматуры *4* преобразует криволинейный пруток из бухты в идеально прямой отрезок. Система обычно состоит из серии обрезиненных или стальных роликов, расположенных в шахматном порядке (по вертикали и горизонтали). Пруток, проходя через эти ролики под напряжением, подвергается пластической деформации, которая устраняет остаточную кривизну. Регулировка положения роликов позволяет адаптировать систему под различный диаметр прутка.

На пульте управления *5* расположены сенсорный дисплей, кнопки аварийной остановки и управления. С помощью пульта задаются все технологические параметры.

Диск подвижный *6* – второй, идентичный по конструкции диск, смонтированный на каретке. Он выполняет две синхронизированные функции: зажим прутка и его линейное перемещение. После срабатывания зажима совместно с диском фиксации, он осуществляет протяжку прутка на заданную величину (шаг подачи).

Привод вращения диска фиксации *7* обеспечивает синхронизированное с подвижным диском *6* вращение диска фиксации *3* при операциях, требующих поворота всего прутка (например, для снятия остаточных напряжений после правки).

Бухтодержатель *8* выполняет роль накопителя и точки начала технологической цепочки. Конструктивно представляет собой мощную вращающуюся ось с механизмом разблокировки, на которую устанавливается бухта (катушка) арматурной стали. Основными параметрами являются: грузоподъёмность и допустимый внутренний диаметр рулона.

Опоры гидравлические *9* – вспомогательные элементы, которые представляют собой выдвижные опоры с гидравлическим приводом. Они обеспечивают абсолютную устойчивость и строгую горизонтальность станины станка на неидеальной поверхности цеха, что исключает перекосы и повышает точность обработки.

Направляющие *10* – прецизионные линейные направляющие (как правило, рельсового типа), по которым перемещается каретка с подвижным диском *6*. Они обеспечивают прямолинейность и минимальное сопротивление движению,

что критически важно для точности позиционирования конца прутка и равномерности подачи.

Привод вращения подвижного диска *11* (обычно сервопривод) обеспечивает вращение подвижного диска вокруг его оси. Это необходимо для ориентации прутка (если требуется определённый угол поворота профиля) или осуществления его ввинчивания/вывинчивания в случае резьбовых операций.

Привод перемещения подвижного диска *12* – линейный привод (шариковинтовая пара с серводвигателем или гидроцилиндр), который отвечает за точное поступательное перемещение каретки с диском *6* по направляющим *10*. Длина этого перемещения определяет отрезок подаваемого прутка. Точность позиционирования этого привода напрямую влияет на точность отрезаемой длины.

На основе проведённого обзора и особенности производства сварных арматурных каркасов [3] были сформулированы основные этапы разработки 3D-модели роботизированного комплекса.

Этап 1: Постановка задачи и анализ конструкции. На данном этапе были:

1 изучены чертежи и эскизы комплекса, определены основные узлы:

– длинная опорная балка (основание);
– крепёжные элементы для круглых деталей (держатели);
– круглые детали с радиальными элементами.

2 определены ключевые размеры:

– длина балки;
– диаметр колёс;
– расстояние между держателями.

3 сформированы требования к 3D-модели комплекса:

– точность сопряжения деталей;
– визуализация всех элементов;
– возможность разборки модели.

Этап 2: Создание 3D-модели роботизированного комплекса по производству сварных арматурных каркасов. При разработке использовалась CAD-система КОМПАС-3D. Данный этап включал в себя:

– моделирование основания (рисунок 2).

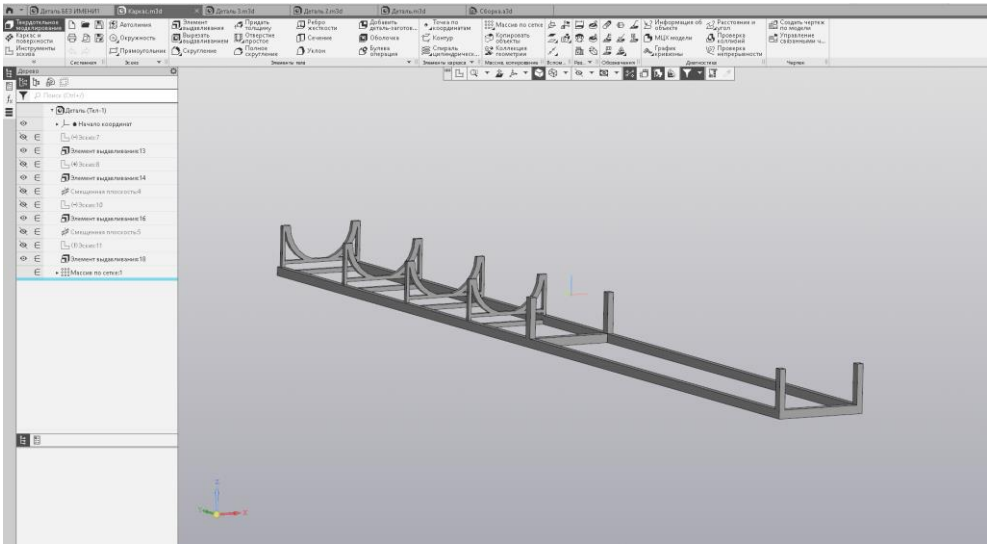
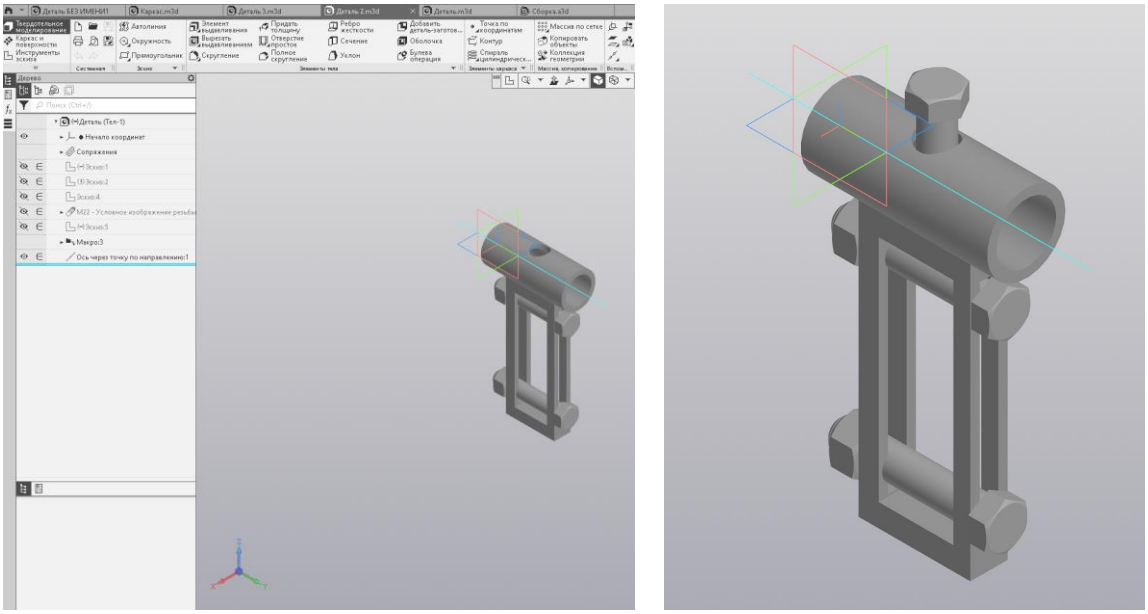


Рисунок 2 – 3D-модель основания

– моделирование крепёжных деталей (рисунок 3).

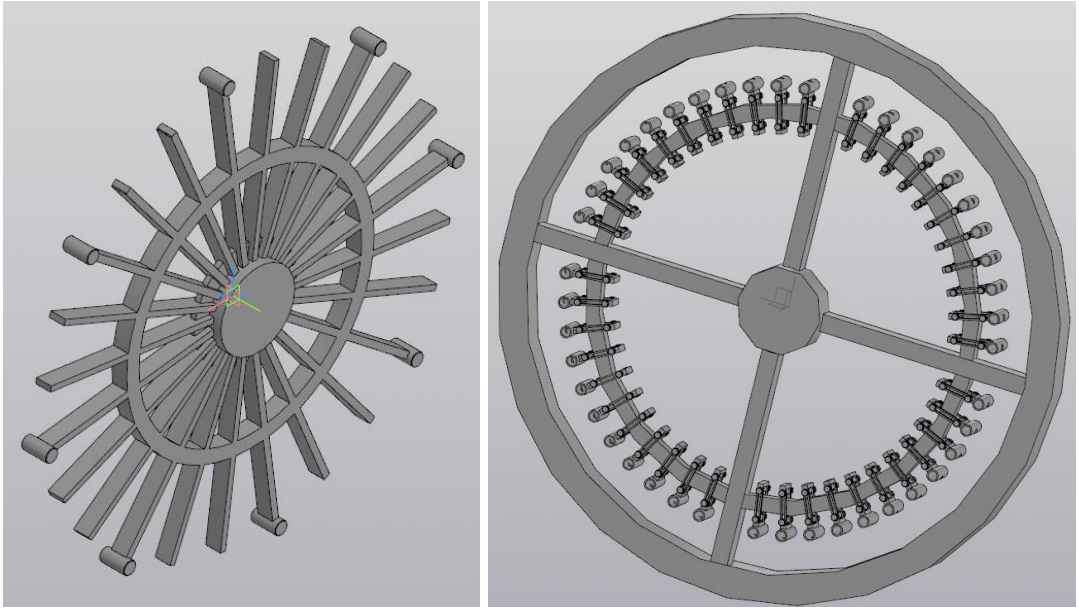


а) *б)*

а – рабочее окно в КОМПАС-3D; б – 3D-модель.

Рисунок 3 – Крепёжный элемент

– моделирование круглых деталей (рисунок 4).



а) *б)*

а – основа для подачи арматуры; *б* – основа для закрепления арматуры.
Рисунок 4 – 3D-модели круглых деталей

– сборку 3D-модели роботизированного комплекса (рисунок 5).

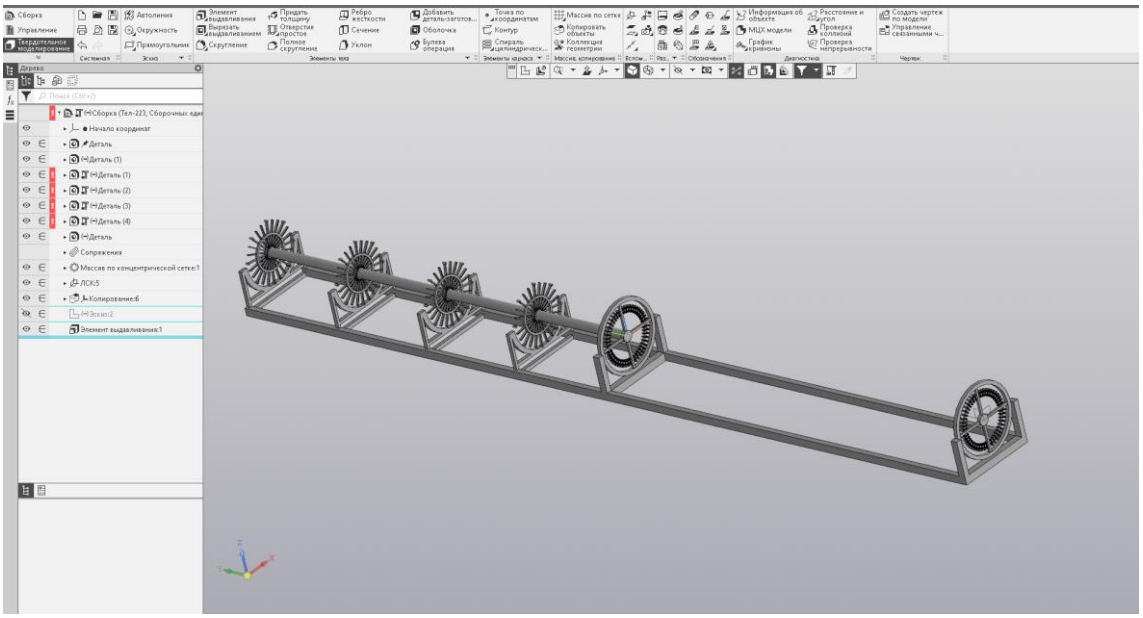


Рисунок 5 – 3D-модель роботизированного комплекса (часть сборки)

Этап 3: Детализация и добавление мелких элементов. На данном этапе в 3D-модель были добавлены крепёжные элементы (болты, гайки и т.д.) из библиотеки стандартных изделий КОМПАС-3D. Дополнительно были смоделированы следующие элементы:

– пазы и отверстия на балке;

– декоративные элементы на колёсах;

– фиксаторы и ограничители.

Этап 4: Проверка 3D-модели роботизированного комплекса и исправление ошибок. Здесь следует выделить следующее:

1 проведение проверки на соответствие:

– размеров всех элементов;

– точности сопряжений;

– отсутствие пересечений.

2 исправление выявленных ошибок:

– корректировка размеров эскизов;

– перестроение сопряжений;

– устранение зазоров и пересечений.

3 выполнение валидации 3D-модели с помощью встроенных инструментов CAD-системы КОМПАС-3D.

Этап 5: Сохранение 3D-модели роботизированного комплекса.

В дальнейшем в рамках данной работы планируется выполнить инженерный анализ 3D-модели на основе метода конечных элементов в CAE-системе, который позволит внести дополнительные изменения в разработанную модель роботизированного комплекса.

Список литературы

1 Роботизированное производство сварных арматурных каркасов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eurasia-group.ru/blog/articles/robotizirovannoe-proizvodstvo-svarnykh-armaturnykh-karkasov-/. – Загл. с экрана. – Проверено 15.01.2026.

2 Завод строительных и промышленных механизмов VPK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gutmash.nt-rt.ru/ – Загл. с экрана. – Проверено 15.01.2026.

3 Бондаренко, Н. Д. Обзор и особенности производства сварных арматурных каркасов [Электронный ресурс] / Н. Д. Бондаренко, К. В. Марусич // 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. 1758-1761.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО 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»

В данной статье рассматриваются особенности автоматизированного тестирования промышленных шкафов автоматики с использованием имитационной модели технологического процесса и технологии HiL (Hardware-in-the0Loop), приводится диаграмма последовательности для процесса подобного тестирования.

Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) сопряжены со значительными затратами, большая часть которых приходится на этап пусконаладочных работ (ПНР). Именно на этом этапе чаще всего выявляются ошибки в проектировании, монтаже и программировании, что приводит к простоям дорогостоящего оборудования, увеличению сроков ввода системы в эксплуатацию и росту непредвиденных расходов. Традиционное «ручное» тестирование шкафов автоматики, основанное на визуальном контроле и эмуляции работы программы, является трудоёмким, субъективным и не гарантирует выявления всех ошибок.

Автоматизация тестирования промышленных шкафов автоматики основывается на технологии программно-аппаратного моделирования HiL (Hardware-in-the-Loop). Объекты управления, для которых разработан шкаф автоматики и программное обеспечение ПЛК данного шкафа, заменяются имитационной математической моделью, работающей в реальном времени. В результате шкаф автоматики подключается к стенду для тестирования и обменивается сигналами с моделью, что позволяет обеспечить качество шкафа автоматики и снизить сроки проведения пусконаладочных работ на объекте.

Для каждого технологического процесса тестируемых шкафов автоматики разрабатывается своя имитационная модель с учётом требований технического задания и используемых средств автоматизации. Стенд для тестирования подразумевает использование специального программного обеспечения, осуществляющего проверку аппаратной и программной части шкафа в соответствии с предварительно разработанными сценариями тестирования и создающей отчёты о результатах проверки и соответствию критериям для проводящего тестирование специалиста.

В качестве программной платформы для реализации вычислительного ядра HiL-стенда наиболее рационально использовать современные SCADA-системы благодаря наличию встроенных средств для работы в реальном времени, архивирования данных, визуализации и генерации отчётов, поддержка ши-

рокого спектра промышленных протоколов, возможность создания гибридных тестов, сочетающих автоматическое выполнение сценариев с ручным интерактивным вмешательством специалиста, проводящего тестирование, для дополнительной проверки.

На рисунке 1 представлена UML-диаграмма последовательности для процесса автоматизированного тестирования промышленных шкафов автоматики.

В процессе тестирования происходит инициализация – загрузка управляющей программы в ПЛК тестируемого шкафа и имитационной модели в стенд для тестирования, выполнение тестовых сценариев, как для штатной работы, так и для аварийных и предаварийных ситуаций, формирование отчёта о результатах тестирования.

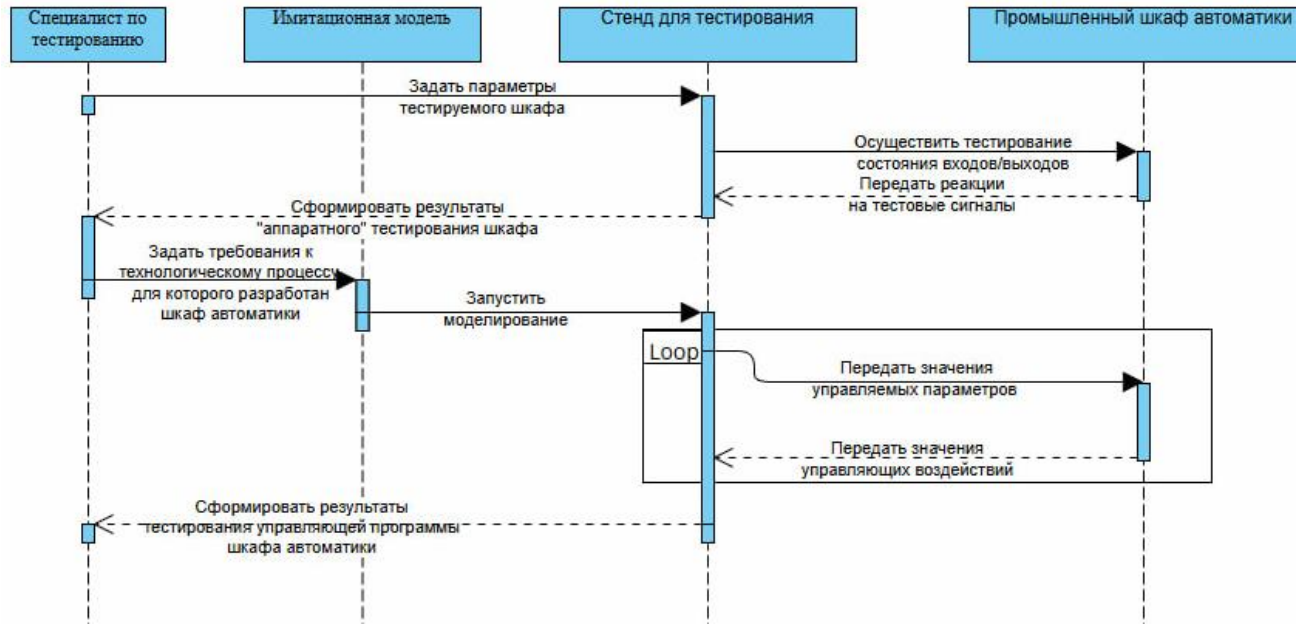


Рисунок 1 – UML-диаграмма последовательности для процесса автоматизированного тестирования промышленных шкафов автоматики

Затраты на разработку имитационных моделей индивидуально для каждого объекта и технологического процесса могут быть довольно высоки, особенно для систем, имеющих более сотни аналоговых и дискретных входов-выходов. Для повышения экономической эффективности предлагается подход, основанный на создании библиотеки параметризуемых моделей для типовых объектов. Единожды разработанная модель-шаблон может быть быстро адаптирована под конкретный проект путём изменения ключевых параметров.

Экономический эффект от внедрения системы автоматизированного тестирования достигается за счёт сокращения сроков пуско-наладочных работ на объекте, снижения транспортных и командировочных расходов, минимизации рисков аварий и простоев технологического оборудования при опытной эксплуатации из-за некорректной работы АСУ ТП.

Список литературы

1 Базаева, С. Е. Инструментальные средства разработки моделей технических комплексов / С. Е. Базаева, Я. А. Зотов // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 5-13.

2 Гогорян, М. Л. Тестирование релейной защиты с помощью технологии HIL / М. Л. Гогорян, А. А. Терехова, С. Э. Эктов // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 18 апреля 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 122-125.

3 Букарев, А. В. Практическое применение формализованного подхода для оптимизации процесса тестирования программного обеспечения в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) / А. В. Букарев // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 5. – С. 7-12.

4. Базаева, С. Е. Вопросы применения концепции HLA при создании стендов полунатурного моделирования / С. Е. Базаева // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 59-63.

5. 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.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМИ РИСКАМИ

Махметова К.М., Боровский А.С., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Эффективное управление рисками сердечно-сосудистых заболеваний играет важную роль в снижении уровня заболеваемости и предотвращении осложнений. Современный подход к контролю факторов риска основывается на комплексной оценке индивидуальных особенностей пациента [1].

В условиях растущей нагрузки на систему здравоохранения особое значение приобретает интеграция современных инструментов мониторинга и поддержки принятия решений, которые помогают врачам минимизировать возможность ошибок и повысить качество профилактических и лечебных мероприятий. Развитие информационных технологий и методов анализа данных позволяет создавать более точные модели прогнозирования риска, а также оптимизировать планирование вмешательств, направленных на коррекцию факторов риска [2].

Учитывая сложность и многоуровневый характер, целесообразно представить данный процесс с использованием методологии IDEF0, позволяющей наглядно отобразить входные и выходные потоки, механизмы и управляющие воздействия. Контекстная диаграмма A0, отражающая общую структуру и границы системы, приведена на рисунке 1.

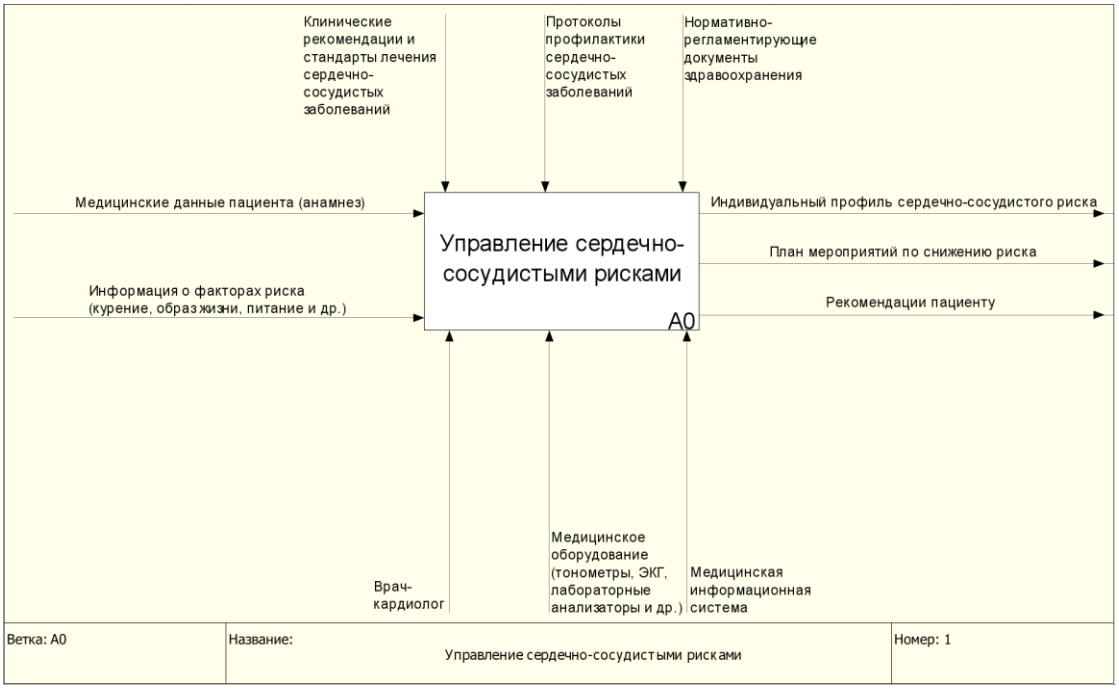


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма A0 управления сердечно-сосудистыми рисками

Диаграмма представляет процесс в виде единого функционального блока, описывающего преобразование исходных данных о состоянии пациента в результаты оценки риска и рекомендации по его снижению.

На вход системы поступают медицинские данные пациента, а также сведения о факторах риска, влияющих на состояние сердечно-сосудистой системы.

В качестве управляющих воздействий используются клинические рекомендации и стандарты оказания медицинской помощи, протоколы диагностики и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, а также нормативно-методические документы, регламентирующие порядок оценки и интерпретации факторов риска. Данные элементы определяют методологическую основу функционирования системы и обеспечивают соответствие процесса современным требованиям доказательной медицины.

Механизмами реализации процесса выступают врач-кардиолог, медицинская информационная система, а также диагностическое оборудование, обеспечивающее получение и обработку клинических данных.

Результатом (выходом) функционирования системы является индивидуальный профиль сердечно-сосудистого риска, включающий количественную и качественную оценку уровня риска, а также разработанный на его основе план профилактических и лечебных мероприятий.

К выходным данным также относятся рекомендации для пациента и врача, а в случае динамического наблюдения – отчет о состоянии здоровья в сравнении с целевыми показателями [3].

Диаграмма декомпозиции А0 управления сердечно-сосудистыми рисками представлена на рисунке 2.

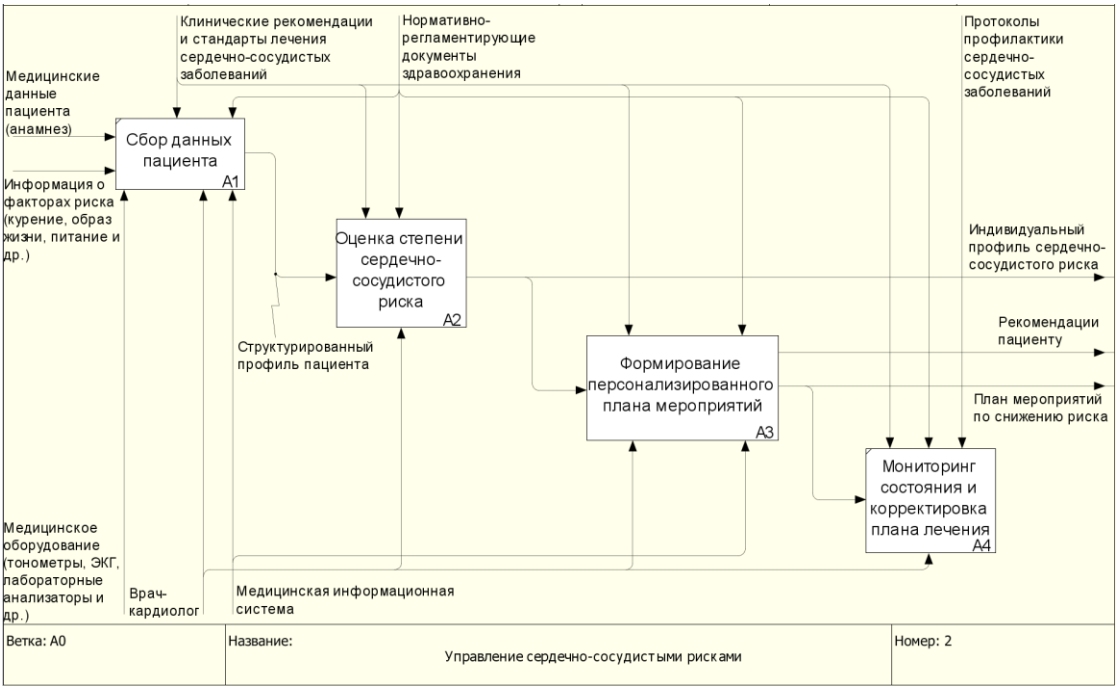


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции А0 управления сердечно-сосудистыми рисками

На первом уровне декомпозиции система представлена четырьмя основными подпроцессами, каждый из которых отражает отдельный аспект управления рисками. Начальный этап состоит из сбора данных пациента, обеспечивающий получение и верификацию информации о состоянии здоровья и факторах риска. Следующий этап связан с оценкой степени сердечно-сосудистого риска, на котором осуществляется аналитическая обработка данных и расчет интегральных показателей на основе клинических и статистических моделей. Результаты данного анализа служат основой для формирования персонализированного плана профилактических мероприятий, направленного на снижение выявленных рисков и достижение целевых показателей здоровья. Завершающий этап процесса предусматривает мониторинг эффективности и корректировку плана с учетом динамики состояния пациента и результатов выполненных мероприятий.

Диаграмма декомпозиции А2 оценки степени сердечно-сосудистого риска показана на рисунке 3.

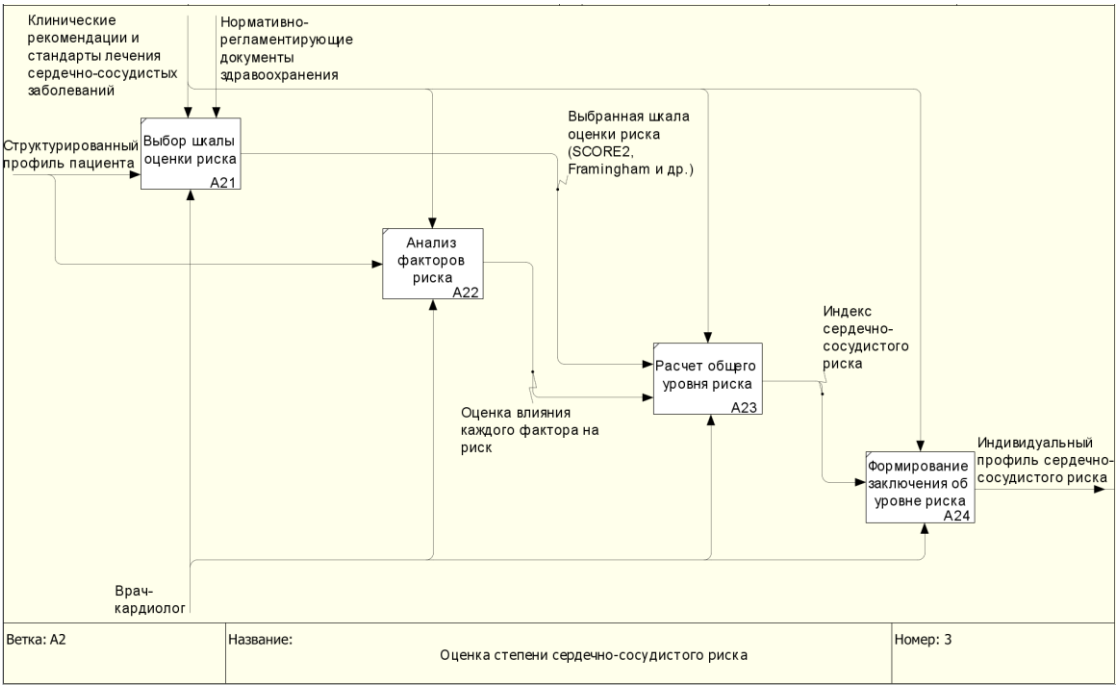


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции А2 оценки степени сердечно-сосудистого риска

Декомпозиция блока А2 «Оценка степени сердечно-сосудистого риска» отражает последовательность действий, обеспечивающих переход от структурированных медицинских данных к количественной и качественной оценке уровня риска. На данном уровне модель раскрывает внутреннюю структуру процесса оценки, в котором реализуются процедуры выбора подходящей модели расчета, анализа факторов риска, вычисления интегрального показателя и формирования итогового отчета.

Процесс начинается с выбора соответствующей модели оценки риска, определяемой на основе клинических рекомендаций и нормативных докумен-

тов. Далее выполняется обработка и интерпретация факторов риска, включающих физиологические, биохимические и поведенческие параметры. На этом этапе осуществляется оценка влияния каждого показателя на общий уровень сердечно-сосудистого риска.

Результаты анализа используются для вычисления интегрального показателя риска, который позволяет классифицировать состояние пациента по установленным категориям – от низкого до очень высокого риска. После чего формируется отчет, содержащий не только количественную оценку, но и качественную интерпретацию причин, повлиявших на результат.

Диаграмма декомпозиции А3 формирования персонализированного плана мероприятий отображена на рисунке 4.

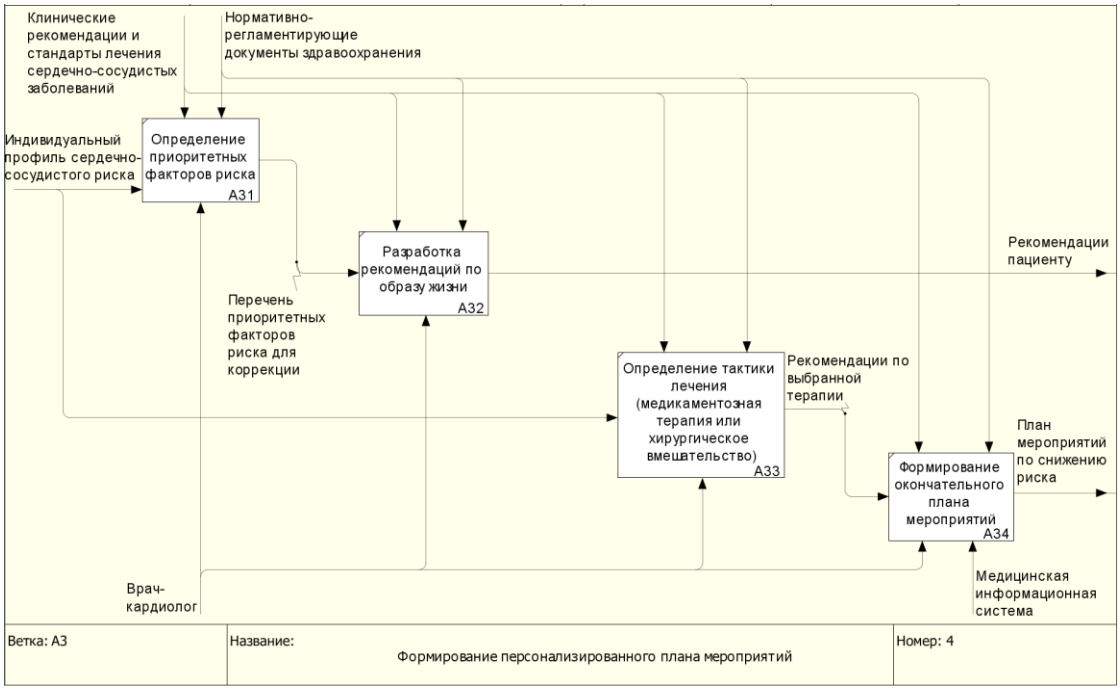


Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции А3 формирования персонализированного плана мероприятий

Декомпозиция блока А3 «Формирование персонализированного плана мероприятий» описывает процесс преобразования результатов оценки сердечно-сосудистого риска в индивидуальный план профилактических и лечебных действий, направленных на его снижение.

Формирование плана начинается с анализа результатов оценки риска и выделения приоритетных факторов, оказывающих наибольшее влияние на состояние сердечно-сосудистой системы. Далее осуществляется разработка индивидуальных рекомендаций, например, связанных с изменением образа жизни, рационом питания, уровнем физической активности и контролем вредных привычек. Данные рекомендации формируются в соответствии с медицинскими стандартами и с учетом индивидуальных характеристик пациента, таких как возраст, пол, наличие сопутствующих заболеваний и особенности течения патологических процессов.

Следующий подпроцесс связан с определением тактики лечения: медикаментозная терапия или хирургическое вмешательство. Выбор подхода осуществляется на основании клинических данных, уровня риска и диагностических показателей, а также с учетом действующих медицинских протоколов и рекомендаций профессиональных сообществ.

Заключительным этапом является формирование единого персонализированного плана мероприятий, включающего последовательность профилактических, терапевтических и организационных действий.

Проведенное функциональное моделирование процесса управления сердечно-сосудистыми рисками позволило формализовать основные этапы деятельности, направленной на оценку и снижение вероятности развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Таким образом, предложенная функциональная модель является концептуальной основой для дальнейшей разработки системы поддержки принятия врачебных решений.

Список литературы

1 Методология разработки системной модели прогноза при сердечно-сосудистых заболеваниях / О. Ю. Щелкова, Д. А. Еремина, М. В. Яковлева [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология и педагогика. – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 271-292.

2 Махметова, К. М. Основные принципы и методы сбора и статистической обработки медицинских данных [Электронный ресурс] / К. М. Махметова, А. С. Боровский // 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. 4222-4229.

3 Махметова, К. М. Разработка онтологической модели заболеваний системы кровообращения человека / К. М. Махметова, А. С. Боровский // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы XII Всерос. конф., Оренбург, 13 нояб. 2025 г. / Оренбург. гос. ун-т ; гл. ред. А. И. Сергеев. – Оренбург : ОГУ, 2025. – С. 147-151.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРУЮЩЕЙ СТАНЦИИ МЕТАНОЛА

Морозов А.А., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

С развитием промышленности в настоящее время существует необходимость в развитии автоматизации адаптивных способов использования механизмов.

Самое распространенное применение метанола отмечается в нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Метанол используется как реагент для очищения получаемой продукции, но стоит отметить, что вещество достаточно токсичное, именно это требует строгого дозирования вещества при использовании.

Использование АСУ для дозирующей станции метанола позволит обезопасить использование метанола, так как исключает прямой контакт с реагентом и снижает риск воздействия человеческого фактора [1, с. 25].

Ниже приведена структурная схема автоматизации дозирующей станции.

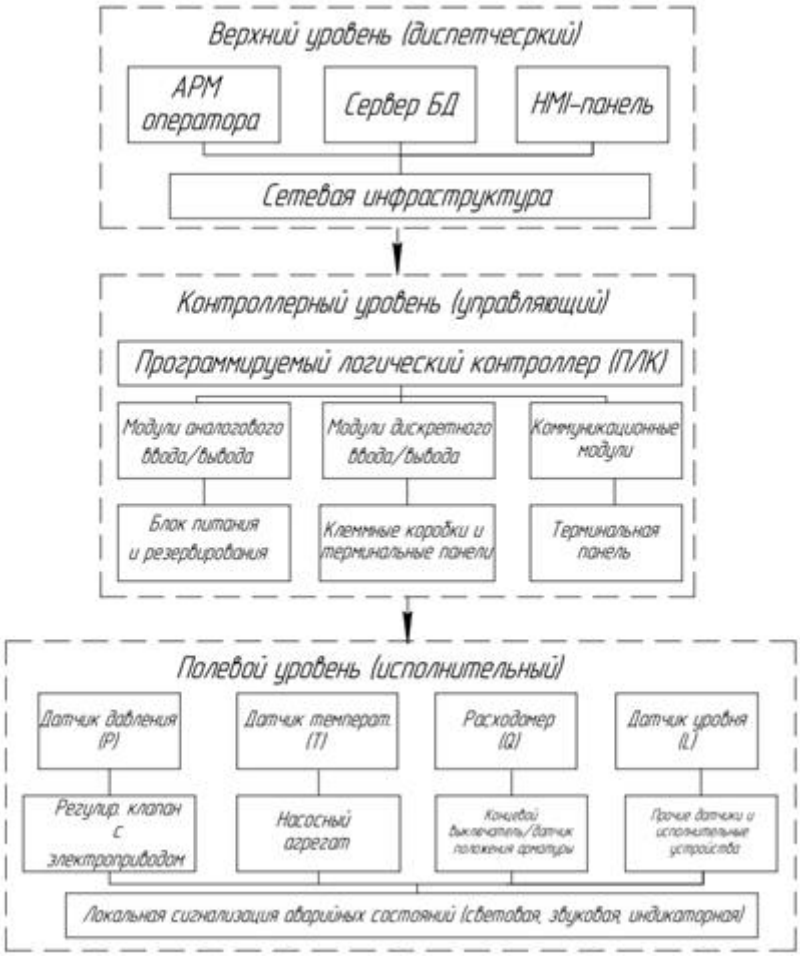


Рисунок 13 – Структурная схема автоматизации дозирующей станции

Система автоматизации дозировочной станции проектируется на основе иерархического принципа, основанного на стандартных протоколах обмена информации.

Основным компонентом в системе автоматизации является возможность аварийной остановки и локальная сигнализация. Система должна иметь замкнутый контур и предусматривать адаптивный режим работы, которые позволяют отключить каналы контроля параметров.

При проектировании и внедрении автоматизированной системы управления дозирующей станции метанола необходимо соблюдать комплекс требований, обеспечивающих безопасную и эффективную работу. Монтаж и исполнение технических средств должны соответствовать действующей технической, эксплуатационной и нормативной документации.

Обязательным условием для работы потенциальной системы является взрывозащищённое исполнение, применение искробезопасных цепей при выборе измерительной аппаратуры увеличивает шансы на безопасное использование системы [3, с. 237].

Одним из важнейших критических факторов для надежной работы дозирующей станции является точность измерений.

Для рассматриваемой системы АСУ следует применить следующие погрешности:

– для средств измерения давления – менее 1 %;

– для средств измерения температуры – менее 0,2 %.

Автоматизация контроля и управления дозирующей станции реализуется посредством специализированного программного обеспечения, работающего в режиме реального времени [2, с. 128].

Отмечены ключевые функции ПО:

1) сбор и обработка данных с датчиков и измерительных устройств;

2) реализация алгоритмов дозирования метанола на основе текущих параметров процесса;

3) визуализация технологического процесса для оператора;

4) диагностика неисправностей и аварийных реагентов.

Автоматизация дозирующей станции метанола – сложный инженерно-технический процесс, требующий комплексного подхода к выбору оборудования, программного обеспечения, с соблюдений требований к техническим средствам, метрологическому обеспечению, программному обеспечения, гарантирует надежную, безопасную и эффективную работу станции в условиях производства. Внедрение АСУ позволяет не только оптимизировать технологические процессы, но и снизить эксплуатационные затраты, минимизировав риски аварий и нештатных ситуаций.

Список литературы

1 Громаков, Е.И. Проектирование автоматизированных систем / Е.И. Громаков. – Томск: ТПУ, 2009. – 126 с.

2 Комягин, А.Ф. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП газонефтепроводов / А.Ф. Комягин. – СПб., 1983. – 376 с.

3 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов / С.В. Белов. – М.: Изд–во Юрайт, 2013. – 671 с.

4 Технологические процессы и производства / М.Б. Абугов, С.Е. Алѐшичев, В.А. Балюбаш, Ю.Г. Стегаличе. – СПб: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 95 с.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

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

В современном машиностроительном производстве, чтобы оставаться конкуретноспособным на рынке, возникает необходимость в кратчайшие сроки и с высоким качеством осваивать новые виды изделий. Важную роль в изготовлении выпускаемой продукции в машиностроении играет технологическая подготовка производства. С развитием компьютерных технологий за последние десятилетия использование систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) необходимо [1].

В связи с вышесказанным разработка методики проектирования ТП, позволяющей не только исключить ошибки, но и значительно сократить сроки, затрачиваемые на составление маршрутно-операционных карт и технологических процессов изготовления деталей при единичном производстве буровых установок, в частности, а также при единичном производстве в машиностроении в целом, является несомненно актуальной задачей на сегодняшний день [2].

Процедура производства изделий на АО «Завод бурового оборудования» выполняется в следующей последовательности (рисунок 1):

– инженер-конструктор разрабатывает конструкторскую документацию (КД) на детали и узлы буровых установок в Компас-3D, создает соответствующие позиции в электронном архиве «Лоцман:PLM», прикрепляет к этим позициям 3D-модели и чертежи, а также сдает в архив комплект чертежей в бумажном виде (Блок 1);

– далее, инженер-технолог по полученным чертежам из архива определяет нормы расхода материалов в программе «1С: Предприятие», на основании которых отдел материально-технического снабжения (ОМТС) производит закупку материла. Затем технологи разрабатывают технологические процессы в СПРУТ ТП, маршрутно-операционные карты на изготовление деталей, готовые ТП технологи также прикрепляют к соответствующим позициям в Лоцман:PLM и также в бумажном виде передают в архив (Блок 2);

– затем отдел нормирования рассчитывает трудоемкость, проставляет нормы времени на каждую операцию в ТП в соответствующих графах в СПРУТ ТП, также используя Лоцман:PLM, далее диспетчера ПДО (планово-диспетчерского отдела) формируют маршрутно-операционные карты в СПРУТ ТП и в бумажном виде передают мастерам производственного цеха участка производства буровых установок (УПБУ), в свою очередь мастера следуя операциям в маршрутных картах организовывают непосредственно изготовление

деталей и узлов буровых установок, выполняя последовательность операций на станках согласно ТП (Блок 3).

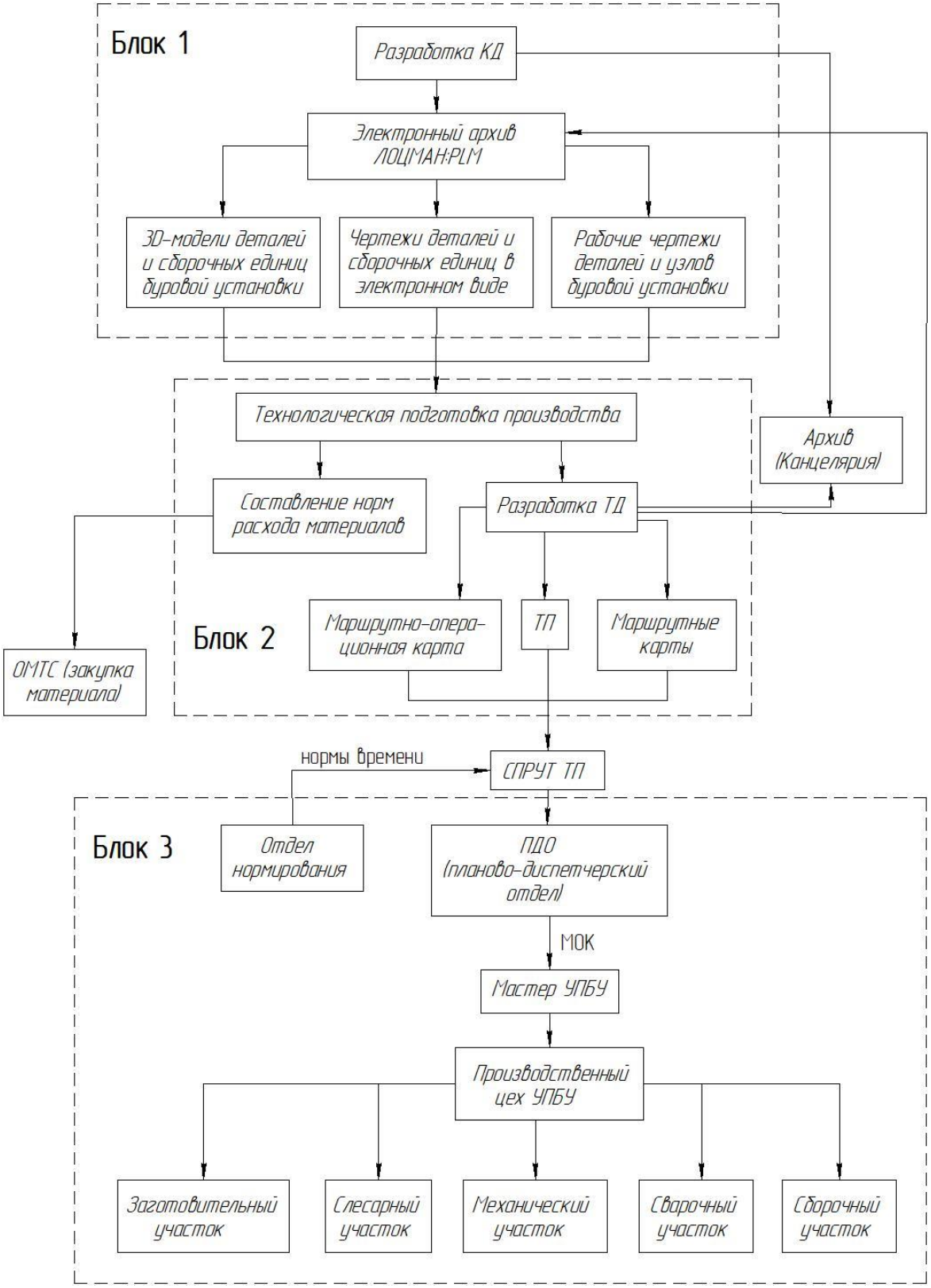


Рисунок 1 – Схема цикла производства деталей и узлов буровых установок обобщенная

Для разработки методики проектирования ТП необходимо выявить последовательность всех действий инженера-технолога, выполняющего технологическую подготовку производства изделия, пошагово (то есть подробнее рассмотреть Блок 2).

САПР проектирования ТП, основанная на интеграции процедур анализа и синтеза, будет разделяться на следующие этапы:

Этап 1 – Создание базы данных, архива ТП. На данном этапе инженер-технолог разрабатывает шаблоны, необходимые для работы САПР ТП:

– разработка шаблонов группового ТП в СПРУТ-ТП, где будут прописаны все возможные операции механической обработки деталей с переходами, в которых будут указаны параметры переменных. Причем в шаблоне будут проставлены условия применения операции в зависимости от геометрических параметров и конфигурации деталей. Например, если деталь из круглого металлопроката, то в этом случае будет применяться операция «Токарная», если же деталь из листового материала, то, соответственно, применятся операция «Фрезерная». При этом разрабатываются 2 вида групповых шаблонов – для деталей вращения и для деталей выдавливания отдельно [3];

– разработка типовых ТП на различные виды деталей: детали типа «Вал», типа «Диск»; типа «Ухо»; типа «Кронштейн» и т.д.;

– разработка множества отдельных конструктивно-технологических элементов (КТЭ), где будут содержаться операции на простейшие технологические обработки деталей, таких как шпоночный паз, резьбовые отверстия, окна, занижения, пазы, отверстия, фаски, и т.д.

Этап 2 – Разработка программных модулей, предназначенных для функционирования интегрированной системы и обеспечивающих взаимодействие с базой данных, созданной на первом этапе:

– модуль распознавания 3D-модели. В основе данного модуля используется программный код, подробно описанный в статье «Система автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления деталей буровых установок» [4]. При этом программный модуль необходимо усовершенствовать с целью расширения возможностей, а именно, чтобы на выходе в маршрутно-операционной карте отображались параметры деталей и узлов уже с допусками и посадками, а также шероховатостью обработки поверхностей согласно КД;

– модуль формирования ТП, позволяющий автоматически передавать данные из Компас-3D в шаблоны СПРУТ ТП. Одной из функций модуля будет возможность автоматического выбора необходимого шаблона в зависимости от конкретной детали.

В конечном итоге, при разработке методики проектирования в качестве оптимального варианта направления исследования предлагается выбрать комбинированный метод, основанный на интеграции процедур анализа и синтеза [5].

Применение данной методики и внедрение САПР значительно сократит сроки проектирования технологических процессов (ТП) изготовления деталей

буровых установок предположительно на 50 % и на 100 % исключит вероятность ошибок инженера-технолога за счет автоматического переноса данных из КОМПАС-3D в СПРУТ ТП.

Список литературы

1 Непейн, А.В. Обзор методов проектирования технологических процессов деталей в машиностроении / А.В. Непейн, А.И. Сергеев // Фундаментальные и прикладные научные исследования в условиях современных вызовов и угроз: сборник материалов X Международной научно-практической конференции; Москва, 2024. – С. 194-198.

2 Сергеев, А.И. К вопросу автоматизации проектирования технологических процессов / А.И. Сергеев, А.В. Непейн // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2022. – С.1672–1675.

3 Сергеев, А.И. Разработка алгоритма автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления деталей буровых установок / А.И. Сергеев, А.В. Непейн // Университетский комплекс как реги-ональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2023. – С.1748-1752.

4 Непейн, А.В. Система автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления деталей буровых установок / А.В. Непейн // Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы [Электронный ресурс]: материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2023. -С.301-308.

5 Акулович, Л.М. Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич. – Вестник Белорусско-Российского университета. - 2017. - №2(55). – С. 5-15.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ДОСТИЖЕНИИ ТЕПЛОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

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»

В данной работе выполнен обзор части работ, в которых исследовались тепловые деформации современных станков за последние четыре года.

В представленный обзор попали две обзорные работы [1, 2], которые охватывают существенно больший период, но в них авторами также сделан упор на достижения последних десяти лет.

Так в работе 2023 года [1] отмечается что в последние десять лет больше внимания уделяется исследованию тепловых погрешностей станков. Некоторые методы моделирования, такие как LSSVM и нейронные сети, показали хорошие результаты, но для таких моделей требуется много обучающих выборок и большое количество вычислений. Поэтому бурного развития исследований в области нейронных сетей или SVM не наблюдается.

Благодаря простоте математических принципов и замечательной точности прогнозирования, традиционные модели, основанные на улучшенных алгоритмах, по-прежнему демонстрируют высокую жизнеспособность и находят применение в инженерных задачах.

Когда структура станка и условия работы просты, в первую очередь следует рассмотреть методы наименьших квадратов и множественной линейной регрессии, при этом точность прогнозирования с помощью множественной линейной регрессии, как правило, выше. В отличие от них, нейронные сети и метод опорных векторов (SVM) больше подходят для сложных станков и сложных условий работы.

В будущем исследования технологии моделирования тепловых погрешностей станков могут проводиться по следующим направлениям:

1 При условии обеспечения точности прогнозирования необходимо дополнительно повысить устойчивость модели тепловых погрешностей. Что имеет особое значение при изменении внешней среды, условий работы, точности измерений прибора и других факторов.

2 Текущие исследования тепловых погрешностей станков, начиная с выбора точек измерения температуры, создания модели и заканчивая фактическим применением компенсационной модели, обычно проводятся на станках конкретных типов типа. Однако при переносе модели на другие типы станков точность модели существенно снижается, а в отдельных случаях оказывается полностью недействительной. В будущих исследованиях этому аспекту будет уделяться особое внимание. По сути это создание инвариантных и одновременно

предельно точных моделей тепловых погрешностей к различным типам станков.

3 Помимо методов компенсации ошибок, рассматриваются также методы предотвращения тепловых погрешностей станков.

4 Гибридная модель прогнозирования построенная на основе различных математических методах моделирования. Путем корректировки весов этих методов можно улучшить ее производительность.

В эпоху больших данных и непрерывного развития искусственного интеллекта, технологии машинного обучения стали неотъемлемой частью моделирования и компенсации тепловых погрешностей станков. Ожидается, что в будущем новые крупномасштабные модели и технологии глубокого обучения будут более широко применяться в этой области. Так обзорная статья [2] рассматривает исследования, посвященные снижению тепловых погрешностей станков. Моделирование тепловых погрешностей является наиболее важным этапом компенсации тепловых погрешностей, поскольку оно напрямую влияет на эффективность компенсации благодаря своей точности и надежности. С быстрым развитием больших данных и искусственного интеллекта машинное обучение стало мощным инструментом в моделировании тепловых погрешностей, что привело к значительному прогрессу в исследованиях в последние годы. В данной статье представлен обзор методов моделирования тепловых погрешностей на основе глубокого обучения, которые были исследованы и применены в последние годы. В частности, представлены и проанализированы два метода уменьшения тепловых погрешностей, а именно подавление тепловых погрешностей и компенсация тепловых погрешностей.

Основываясь на последних исследованиях в области моделирования и компенсации тепловых погрешностей на основе машинного обучения, в данной статье предлагаются следующие перспективы:

1 Слияние мультимодальных данных. Тепловые ошибки часто зависят от различных факторов, и одномодальные данные могут не в полной мере отражать механизмы, лежащие в основе генерации тепловых ошибок.

2 Методы переноса обучения. Перенос обучения позволяет переносить знания из предварительно обученной модели на новую задачу, сокращая требования к данным и время обучения для новой задачи. В моделировании тепловых ошибок перенос обучения может использоваться для переноса модели, обученной на одном устройстве, на другое устройство.

3 Объяснимые модели глубокого обучения. Благодаря включению объяснимых структур нейронных сетей, таких как механизмы внимания, или интеграции физических знаний в модели глубокого обучения, модели могут не только обладать превосходными прогностическими возможностями, но и отражать физические законы.

Работы [3, 4] отражают тенденцию разработки точной модели прогнозирования тепловых погрешностей в станках, которые имеют первостепенное значение для обеспечения высокой точности обработки.

В работе [4] в качестве объекта исследования рассмотрен шпиндельный узел. Особенность работы – исследуются тепловые характеристики шпинделя с использованием системы переменного предварительного натяга и внешней системы жидкостного охлаждения путем анализа механизма повышения температуры станка.

В работе [3] показана разработка математической модели шпиндельного узла на базе искусственной нейронной сети (ИНС) для прогнозирования тепловой деформации высокоскоростного шпинделя. Особенность данной работы – это оптимизация входных параметров для обеспечения высокой точности прогнозирования. Для выбора оптимальных комбинаций входных параметров (температура подающей охлаждающей жидкости, разница температур на входе и выходе шпинделя и скорость потока хладагента) в работе была разработана модель оптимизации на основе генетического алгоритма (ГА).

В работе [5] представлен анализ изменения теплового состояния приводов подачи станка. Целью работы [5] является исследование эволюции ошибки позиционирования под воздействием термомеханических нагрузок, а также идентифицирование, оценка и прогнозирование ошибки позиционирования. Во-первых, с помощью теоретического анализа уточняется механизм формирования и факторы, влияющие на ошибку позиционирования. Во-вторых, на основе кластерного анализа оптимизируется распределение точек измерения температуры для выбора ключевых температурных точек, наилучшим образом отражающих взаимосвязь между температурами и ошибками. Наконец, экспериментальные данные используются для разложения и оценки процесса эволюции кривой ошибки позиционирования и состояния движения оси подачи, а для моделирования и прогнозирования ошибки позиционирования под воздействием термомеханических нагрузок используется нейронная сеть на основе радиальных базисных функций (RBFNN).

В настоящее время высокопроизводительные модели тепловых погрешностей могут работать только на периферийных компьютерах из-за ограничений вычислительной мощности систем ЧПУ в условиях реального времени. Следовательно, своевременность инструкций по компенсации тепловых погрешностей не может быть гарантирована; задержки и изменения инструкций по компенсации приводят к дефектам обрабатываемой поверхности, что является основным препятствием, ограничивающим применение компенсации тепловых погрешностей на основе высокопроизводительных моделей. Для решения этой проблемы в работе [6] предложена новая архитектура компенсации тепловых погрешностей станка в реальном времени с использованием высокопроизводительной модели. На основе команды управления станком с опережающим прогнозированием, термическая погрешность следующего этапа может быть спрогнозирована в соответствии с высокоэффективной моделью прогнозирования термической погрешности, работающей на режущей кромке, а параметры модели компенсации термической погрешности, работающей в системе ЧПУ, могут быть подобраны для высокоточной компенсации термической погрешности в реальном времени в процессе обработки.

В работе [7] разработан метод прогнозирования и компенсации тепловых деформаций станков. Основное внимание уделяется выбору чувствительных к температуре точек, построению прогностической модели и обнаружению температурных аномалий. Оптимальные точки расположения датчиков были определены с использованием алгоритмов ранжирования признаков и графиков частичной зависимости (Partial Dependence Plots), что позволило улучшить идентификацию деформаций по оси Z. В работе также проведена оценка различных моделей машинного обучения для прогнозирования деформаций по оси Z; в частности, была оптимизирована модель гауссовской регрессии (Gaussian Process Regression) для достижения превосходной точности. Кроме того, задача обнаружения аномалий в показаниях температурных датчиков была решена с использованием одномерных сверточных нейронных сетей (One-Dimensional Convolutional Neural Networks) и сетей долгой краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory Networks), что повысило надежность и робастность системы.

Для точной компенсации осевых погрешностей станков критически важно быстро и достоверно определять тепловые характеристики. В большинстве традиционных методов прогнозирования и компенсации интенсивность тепловыделения и значения коэффициентов конвекции основываются на эмпирических формулах и данных, которые не позволяют учесть временну́ю изменчивость и случайный характер факторов внешней среды и внутренних систем. Это приводит к большим погрешностям и низкой эффективности расчетов. Кроме того, описание температурного поля в сложных системах при наличии больших градиентов температур оказывается недостаточно точным, а избыточность тепловых узлов при малых градиентах не может быть устранена. В работе [8] впервые разработана универсальная адаптивная модель тепловой сети на базе единичных элементов для динамического подвижного теплового возбуждения, которая используется для решения задач теплопередачи с учетом временной изменчивости и случайных факторов в реальных инженерных условиях. Она адаптивно корректирует масштаб и количество тепловых элементов для повышения точности и эффективности вычислений.

Для повышения точности прогнозирования и устойчивости модели тепловой погрешности станка в работе [9] предложен метод выбора температурно-чувствительных точек модели тепловой погрешности станка на основе критериев выбора независимых переменных. Во-первых, погрешность позиционирования станка разделяется на геометрическую и тепловую погрешности позиционирования, а геометрическая погрешность аппроксимируется полиномом. Во-вторых, на основе критериев выбора независимых переменных отбираются температурно-чувствительные точки, и строится сеть долговременной кратковременной памяти (LSTM) между температурно-чувствительными точками и тепловой погрешностью позиционирования. Наконец, эти два члена погрешности суммируются для создания комплексной модели погрешности позиционирования.

Точное моделирование тепловых погрешностей имеет фундаментальное значение для компенсации тепловых погрешностей станков. Однако традиционные методы моделирования тепловых погрешностей, основанные на данных, полагаются исключительно на экспериментальные данные о температуре и тепловых погрешностях, игнорируя лежащую в основе тепловых погрешностях несущую систему станка. Для учета этого в работе [10] предложен новый метод моделирования тепловых погрешностей с использованием нейронной сети (НС), дополненной моделью пониженного порядка (ROM). Разработана быстрая и точная модель пониженного порядка, заменяющая исходное, дорогостоящее моделирование переходных тепловых структур. Модель пониженного порядка сохраняет тепловой структурный механизм посредством сингулярного разложения (SVD) на серии моделирований. Имея измеренные ключевые температуры, она может восстанавливать поле тепловых смещений в реальном времени путем суперпозиции усеченных собственных мод с использованием прогнозируемых модальных коэффициентов. Впоследствии, вводя выходные данные модели пониженного порядка в качестве дополнительной ключевой переменной для средних слоев НС, модель НС, дополненная моделью пониженного порядка, может быть обучена на экспериментальных данных. Ключевые температурные точки, входные данные для прогнозирования тепловых погрешностей, выбираются путем сочетания кластеризации методом K-средних с информационным выигрышем. В заключение, предложенная модель демонстрирует относительное улучшение производительности на 71 %, 41 %, 34 % и 21 % при пяти скоростях вращения шпинделя по сравнению с моделями ROM, множественной линейной регрессии (MLR), метода наименьших квадратов опорных векторов (LSSVM) и нейронной сети (NN) соответственно.

Тепловые погрешности системы привода подач могут существенно влиять на неточности обработки. Точность прогнозной модели погрешностей может снижаться со временем из-за изменения тепловых характеристик после длительной эксплуатации станка. В работе [11] применяются методы трансферного обучения (переноса обучения) для доработки модели прогнозирования на базе нейронной сети обратного распространения ошибки (BPNN), что позволяет ей эффективно адаптироваться к данным, собранным спустя год эксплуатации. Для измерения теплового расширения шарико-винтовой передачи (ШВП) предложено использовать линейный и поворотный энкодеры, что ускоряет процесс измерений и повышает точность модели за счет минимизации влияния теплопередачи. В этой работе показана ещё одна тенденция в исследованиях– это учёт эффекта Concept-shifting (сдвиг концепта) – в машинном обучении это ситуация, когда статистические свойства данных меняются со временем (станок износился, зазоры стали другими, смазка густеет иначе), и старая модель перестает работать. Для преодоления эффекта «сдвига концепта» (concept-shifting) были применены три метода трансферного обучения. В статье представлен сравнительный анализ трех методов: обычного трансферного обучения (RTL), сети взвешивания важности (IWN) и доменно-состязательного обучения нейронных сетей (DANN).

Повышение температуры ключевых внутренних узлов и изменение температуры окружающей среды в процессе обработки являются основными причинами тепловых смещений шпинделя станка. Это приводит к браку материала и снижению эффективности производства. В работе [12] предложена высокоточная и робастная схема оценки теплового смещения шпинделя, основанная на методе сверточных нейронных сетей (CNN). На первом этапе ряд ключевых сигналов специфической размерности, связанных с тепловым смещением шпинделя, был собран в виде двумерных (2D) карт сигналов. Многоуровневое признаковое описание этих 2D-карт было получено с помощью операций свертки и пулинга (объединения). Затем, с использованием архитектуры полносвязного слоя нейронной сети, была установлена зависимость между извлеченными признаками и тепловым смещением шпинделя. Оптимальные настройки гиперпараметров предложенной CNN-модели были определены с помощью метода планирования экспериментов (DoE). Результаты экспериментов показали, что предложенный метод превосходит методы множественного регрессионного анализа (MLR) и нейронных сетей обратного распространения ошибки (BPNN) по точности оценки и робастности при различных скоростях вращения шпинделя.

В работе [13] описан гибридный подход к моделированию тепловых погрешностей станков. Подход заключается в объединении физического и датацентричного (на основе данных) подходов. Модель прогнозирует тепловую погрешность шпинделя путем анализа закономерностей тепловых деформаций внутри шпиндельного узла. Кроме того, на основе структурного анализа была разработана многозвенная модель тепловой погрешности, разложенная по формуле Тейлора: линейная часть рассчитывалась методом эквивалентных площадей, а нелинейная — прогнозировалась с помощью многомодульной нейронной сети долгой краткосрочной памяти (LSTM). Полученные данные свидетельствуют о том, что метод обладает более высокой робастностью и надежностью в сценариях с малой выборкой данных при различных режимах работы.

В работе [14] с целью точной оценки качества обработки изделий в режиме реального времени представлен метод синхронной эволюции цифрового двойника станков с ЧПУ путем объединения динамических и статических погрешностей. На начальном этапе в виртуальном пространстве строится интринсивная (собственная) модель цифрового двойника станка со статическими геометрическими погрешностями, что позволяет реализовать высокоточное отображение цифрового двойника, ориентированное на траекторию обработки изделия. В дальнейшем описывается метод сбора данных мультисценарного восприятия станка с ЧПУ, и на основе семантического сопоставления достигается унифицированное представление мультисенсорных гетерогенных данных. Наконец, такие динамические погрешности, как тепловая деформация шпинделя и износ инструмента, анализируются в реальном времени с использованием интегрированных данных восприятия. Эти погрешности, наряду со статическими геометрическими погрешностями инструмента, проецируются на заготовку

через траекторию обработки, что обеспечивает основу для замкнутого управления цифровым двойником, ориентированного на качество продукции.

В работе [15] был предложен метод моделирования цифрового двойника на основе облачно-граничного взаимодействия (cloud-edge collaboration) для контроля тепловой погрешности станков. Путем сбора, передачи, хранения и интеграции мультисенсорных гетерогенных данных в процессе обработки были созданы ценные массивы данных. Эти датасеты использовались для обучения улучшенной сети LSTM на уровнях граничных и облачных вычислений, что позволило осуществлять динамическое прогнозирование тепловых погрешностей.

В работе [16] был разработан новый метод прогнозирования тепловых смещений и динамических характеристик станка с использованием цифрового двойника для компенсации погрешности. Метод компенсации основан на методике прогнозирования точности с применением сокращения порядка моделей (model order reduction) для цифрового воспроизведения поведения станков в соответствии с их физическими характеристиками. Кроме того, путем объединения с цифровым двойником динамики был создан комплексный цифровой станок. С помощью этой модели на реальном оборудовании была подтверждена возможность компенсации точности обработки в условиях изменения температуры окружающей среды.

Несмотря на очень небольшой объем научных работ, рассмотренных в данном исследовании чётко прослеживаются следующие основные тенденции в достижении тепловой устойчивости современных станков:

– построение максимально точных моделей прогнозирования и компенсации тепловых деформаций станков;

– широкое применение технологий искусственного интеллекта, и в первую очередь – это нейронных сетей;

– развитие технологий цифровых двойников для построения методов прогнозирования и систем компенсации тепловой погрешности станков;

– построение гибридных моделей, использующих различные технологии построения моделей прогнозирования и компенсации тепловой погрешности станков.

Список литературы

1 Li, Y., Zhao, J., Ji, S., & Wu, C. (2023). A review on thermal error modeling and compensation of machine tools: From physical mechanisms to data-driven methods. *Journal of Manufacturing Processes*, 95, 362-385. doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.04.021

2 Mu, S., Yu, C., Lin, K., Lu, C., Wang, X., Wang, T., & Fu, G. (2025). A Review of Machine Learning-Based Thermal Error Modeling Methods for CNC Machine Tools. *Machines*, 13(2), 153. (p. 1) doi.org/10.3390/machines13020153

3 Maurya, S.N., Luo, WJ., Panigrahi, B. *et al*. Input attribute optimization for thermal deformation of machine-tool spindles using artificial intelligence. *J Intell Manuf* 36, 2387–2408 (2025). https://doi.org/10.1007/s10845-024-02350-1

4 Li, J., Xu, T., Dai, Y. *et al*. Thermal characteristics analysis of machine tool spindle with adjustable bearing preload. *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng*. 46, 314 (2024). https://doi.org/10.1007/s40430-024-04906-x.

5 Wang, T., Shi, J., Sun, J. *et al.* Position error decomposition and prediction of CNC machine tool under thermal–mechanical coupling loads. *Int J Adv Manuf Technol* 137, 199–216 (2025). https://doi.org/10.1007/s00170-025-15188-5

6 Huang, Y., Hong, H., Zhou, H. *et al.* Real-time surrogate compensation architecture for machine-tool thermal error compensation with high-performance model. *Discov Appl Sci* 7, 8 (2025). https://doi.org/10.1007/s42452-024-06389-w

7 Chu, W.-L., Integrating machine learning and feature analysis for predicting and managing thermal deformation in machine tools, Case Studies in Thermal Engineering, Vol.57, 2024, pp.104343, https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104343.

8 Li, Tj., Luo, J., Guo, Sg. *et al.* Thermal error compensation method for CNC machine tools based on unit adaptive thermal networks. *Int J Adv Manuf Technol* 139, 913–928 (2025). https://doi.org/10.1007/s00170-025-15934-9

9 Li, H., Liu, J. & Li, Y. Research on optimization of temperature sensitive points of machine tool thermal error based on independent variable selection criteria. *Sci Rep* 15, 14082 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-98143-4

10 Tan, F., Chen, H., Peng, J. *et al*. Reduced order model-augmented neural network for thermal error modeling in machine tool spindle system. *Int J Adv Manuf Technol* 138, 4293–4311 (2025). https://doi.org/10.1007/s00170-025-15758-7

11 Hong, MQ., Li, WY., Tsai, MS. *et al.* Thermal error prediction model for long-term operating of machine tool using transfer learning techniques. *Int J Adv Manuf Technol* 135, 5473–5488 (2024). https://doi.org/10.1007/s00170-024-14814-y

12 Liao, CW., Lee, MT. & Liu, YC. A thermal deformation estimation method for high precision machine tool spindles based on the convolutional neural network. *J Mech Sci Technol* 37, 3151–3162 (2023). https://doi.org/10.1007/s12206-023-0539-x

13 Zheng, Y., Tao, T., Mei, X. *et al.* Modeling of thermal errors in electric spindle based on a hybrid approach of thermal deformation theory and data drive. *J Intell Manuf* (2025). https://doi.org/10.1007/s10845-025-02565-w

14 Sa, G., Sun, J., Hou, M. *et al.* A digital twin synchronous evolution method of CNC machine tools associated with dynamic and static errors. *Int J Adv Manuf Technol* 134, 2753–2763 (2024). https://doi.org/10.1007/s00170-024-14244-w

15 J L Liu, C Ma, H Q Gui, et al. A four-terminal-architecture cloud-edge based digital twin system for thermal error control of key machining equipment in production lines. Mechanical Systems and Signal Processing, 2022, 166: 108488

16 N. Irino, A. Kobayashi, Y. Shinba, et al. Digital twin based accuracy compensation. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2023, 72 (1): 345–348.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЕЛОВОЙ КОММУНИКАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО РАСЧЕТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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

На сегодняшний день вопросы, связанные с применением цифровых инструментов деловой коммуникации для создания программного обеспечения, весьма актуальны, так как на предприятиях для проектирования и анализа летательных аппаратов важное значение имеет наличие цифровых инструментов в качестве повышения надежности и скорости работы в команде.

В работе представлены результаты анализа влияния цифровых инструментов деловой коммуникации на этапах проектирования и расчета технико-экономических параметров (ТЭП) летательного аппарата (ЛА) для создания программного обеспечения.

История развития авиации и ракетной, а затем ракетно-космической техники имеет свое начало в СССР, в то время, когда инновационные проекты не имели свое начало вовсе. Методические и инструментальные средства расчета технико-экономических параметров проектов летательных аппаратов, производились исключительно человеческими силами. За счет личных знаний и навыков, люди передавали информацию во время личных бесед либо с помощью бумажных носителей [2].

По статистике, рассчитанные по Межведомственным методикам, ТЭП отличалась от имеющих в настоящее время в более десяти раз. Поэтому Головным институтам отрасли приходилось вводить корректировки в методики.

С 1989 года начали появляться первые цифровые инструменты передачи информации – появилась возможность передачи информации через сетевую связь.

Актуальность темы обусловлена тем, что с развитием технологий произошел не только переход к цифровым форматам общения, но и произошли кардинальные изменения в способах обмена информацией на предприятиях. И наличие таких цифровых инструментов служит в качестве повышения надежности и скорости работы в команде.

Развитие теоретических основ проектирования, методологии, разработки и сопровождения информации служило появлению методов формализованного представления предметной области, программных средств, баз данных, корпоративных хранилищ данных, баз знаний, коммуникационных технологий. К 2025 году список коммуникационных технологий значительно стал шире. По-

явление электронной почты, видеосвязи, закрытых каналов и других коммуникаций, представленные на рисунке 1, получили свое название «Унифицированные коммуникации», так как изменили скорость и качество передачи информации.

Рисунок 1 – Унифицированные коммуникации

Унифицированные коммуникации (Unified communications, UC) представляют собой комплексную интеграцию различных средств делового общения и совместной работы в единую, централизованную платформу. UC объединяет в себе функции обмена мгновенными сообщениями, видеоконференций, голосовой связи (VoIP), управления присутствием, обмена файлами, совместного редактирования документов и управления задачами. Использование UC дает возможность легко отслеживать прогресс на каждом этапе разработки, а также обеспечивает простой доступ к необходимым ресурсам и инструментам. Для авиастроения, с его специфическими потребностями и вызовами, внедрение UC открывает новые горизонты, позволяя трансформировать процессы взаимодействия, повысить производительность, ускорить инновации и укрепить конкурентные позиции [1].

Управление проектами создания ЛА регламентируется государством посредством документов, устанавливающих все виды требований, как к изготовлению ЛА и процессу его разработки, так и к выходным летно-техническим характеристикам (ЛТХ) и технико-экономическим показателям (ТЭП) проекта. Технико-экономический анализ проекта создания ЛА также можно разделить на два составляющих компонента:

1. Проектный технико-экономический анализ, проводимы до стадии создания конструкторской документации.

2. Технико-экономическое обоснование на дальнейших стадиях.

Стадии разработки инновационного программного продукта представлены на рисунке 2 [5].

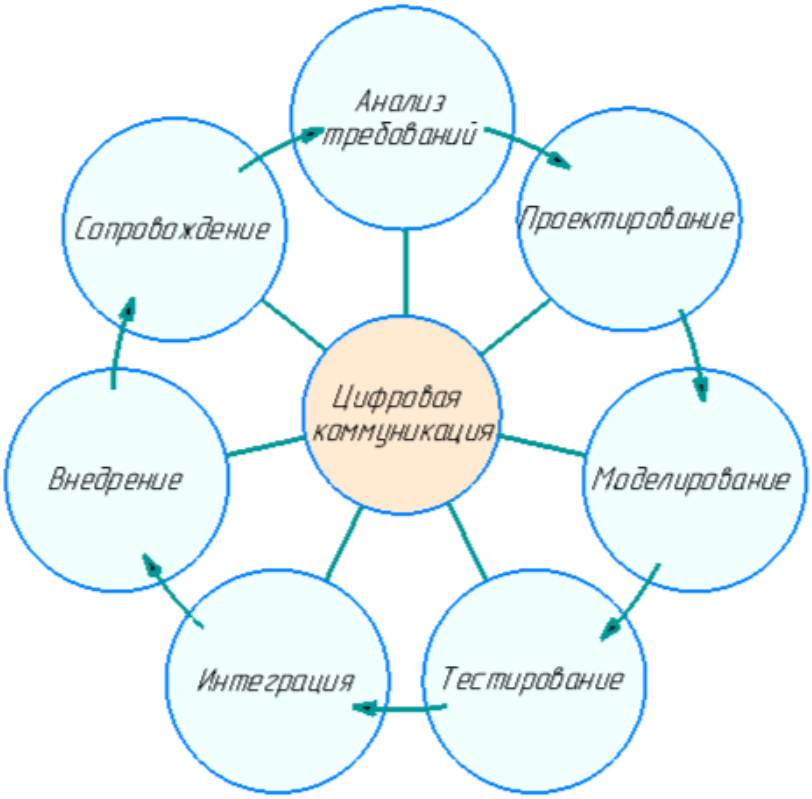


Рисунок 2 – Современная структура процесса разработки авиационного программного обеспечения (ПО)

Межличностные коммуникации всегда играют важную роль в любом бизнесе, но особенно это актуально в сфере разработки инновационных программных продуктов, таких как в авиастроении. В современном мире все больше компаний осознают, что для успешного выполнения всех этапов разработки, начиная от анализа требований и проектирования до моделирования, тестирования, интеграции, внедрения и сопровождения, значительное преимущество дает использование цифровых коммуникаций.

Внедрение платформ и специализированных программных решений позволило улучшить совместную работу, проводить качественные анализы данных и ускорить процессы проектирования и разработки. Кроме того, использование технологий виртуальной реальности и моделирования открывает новые горизонты для проектирования и тестирования аэрокосмических систем, заметно снижая стоимость и временные затраты на создание прототипов.

В авиастроении ключевое значение имеют технико-экономические параметры летательных аппаратов, охватывающие как технические аспекты (грузоподъемность, дальность, скорость, расход топлива, ресурс систем), так и эко-

номические показатели (себестоимость, амортизация, расходы на ТО, доходность), а также экологические и регуляторные требования. Сложность и взаимозависимость этих факторов делают традиционные ручные расчеты крайне трудоемкими и подверженными ошибкам.

Поэтому для создания любого программного обеспечения в аэрокосмической области нужна команда из инженеров-конструкторов, инженеров-программистов, аналитиков и экономистов, поскольку нужен сбор информации и устранение образующих во время работы ошибок, поскольку авиация и ракетно-космическая техника имеет затруднение прогнозировать точность оценки расходов ЛА на плановый период.

Обеспечение команды цифровыми инструментами коммуникации особенно в контексте синхронизации работы между техническими специалистами и руководством проектов. создает эффективные системы управления проектами. Например, такие как Jira, Trello и Asana, помогают визуализировать актуальные проблемы и задачи, контролировать и отслеживать процесс выполнения проекта и формировать отчетность выполненной работы. Такие платформы для сотрудничества как, например Telegram, Zoom и Microsoft Teams, обеспечивают обмен сообщениями, файлами и идеями в реальном времени, также поддерживают постоянное взаимодействие, проведение удаленных встреч и презентаций. Кроме того, облачные хранилища и офисные пакеты, такие как Google и Microsoft 365, дают возможность редактировать документы, электронные таблицы, презентации, также позволяют обмениваться сообщениями через электронную почту, и хранить информацию в хранилищах.

В рамках проектирования аэрокосмических продуктов и модулей программного обеспечения необходимо выполнять несколько ключевых задач, включая разработку высокоуровневой графики, определение интерфейсов для взаимодействия и выбор технологического стека. Для эффективного выполнения этих задач рекомендуется использовать различные средства информационных технологий.

Платформы для совместной работы могут значительно упростить процесс хранения и обсуждения 3D моделей, спецификаций сборочных чертежей, финансово-экономических параметров и протоколов взаимодействия. Видеоконференции с возможностью демонстрации экрана, такие как Zoom, Microsoft Teams или другие защищенные каналы, пригодятся для проведения интервью и обсуждения сложных технических решений, особенно если это согласуется с требованиями министерства обороны из-за наличия конфиденциальной информации. Такие конференции также позволят совместно редактировать схемы в реальном времени.

Системы управления знаниями будут полезны для документирования принятых инженерных решений, обоснований и стандартов проектирования. Также, инструменты для визуализации, такие как Компас 3D, SolidWorks, NX и Catia, обеспечат возможность создания и совместного редактирования деталей и сложных сборочных единиц.

Существует множество приложений, которые позволяют программистам одновременно работать над одним и тем же кодом. Например, программное обеспечение «Git» отслеживает любые изменения в коде, разрабатываемого приложения. Поэтому после внесенных изменений одного из программистов, позволяет фиксировать ПО, как отдельную версию всего приложения. Это позволяет в любой момент времени отслеживать процесс разработки и в случае необходимости вернуться на любую из предыдущих версий приложения, отменить определенные изменения в реальном времени с функциями встроенного чата и комментариев без необходимости личных встреч для решения проблемы [4].

Таким образом, применение цифровых инструментов деловой коммуникации для разработки программного обеспечения, позволяющего выполнить расчеты технико-экономических параметров летательных аппаратов, повышает надежность продукции и способствует улучшению совместной работы между специалистами, предприятий, работающих над одним проектом в разных городах страны. Благодаря возможности ускоренного обмена информацией, компании могут оперативно решать срочные проблемные вопросы, касающиеся конструкторской документации, летно-технических характеристик, процессы программирования и финансовые проблемы на всех этапах проектирования и расчета ЛА.

Список литературы

1 Панфилова, А. П. Деловая коммуникация в профессиональной деятельности: учеб. пособие / А. П. Панфилова. – СПб. : Знание, 2001. – 496 с.

2 Аврамчиков, В. М. Цифровая трансформация в авиационной отрасли: возможности и перспективы / В. М. Аврамчиков, А. С. Тимохович, И. П. Рожнов // Вестник евразийской науки. – 2024.

3 Цифровизация как триггер и вектор трансформации общества на современном этапе развития (рецензия на книгу: В.В. Кафтан. Цифровизация как явление современного общества). – М. : Русайнс, 2024. – 212 с.

4 Гончарова, Л. М. Основы теории коммуникации [Электронный ресурс] / Л.М. Гончарова, В.И. Дубинский, Т.А. Апарина. – НИЦ ИНФРА-М, 2012.

5 Архипов Л. В. Концепция ветвления процесса разработки проекта в системах контроля версий / Л. В. Архипов // Научная статья. – 2015. – №122 (14). – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=25429187.

6 КОМПАС-3D. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kompas.ru

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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

Аэродинамический эксперимент в контексте летательных аппаратов - это комплекс испытаний, направленных на изучение поведения воздушных потоков вокруг летательного аппарата (ЛА) и его компонентов в воздухе. Такие эксперименты помогают исследовать аэродинамические характеристики ЛА, такие как подъемная сила, сопротивление, маневренность и устойчивость.

В соответствии с ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» под испытаниями понимается экспериментальная определение количественных и (или) качественных свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании.

Изучение и анализ имеющихся данных о технологическом процессе является началом экспериментального исследования. В зависимости от поставленной конечной цели, исследование осуществляется поэтапно. Исходя из этого, можно выделить две основополагающие цели исследований:

1. найти адекватное описание функции отклика в заданной части факторного пространства;
2. найти оптимальные условия протекания процесса на основе итогов предыдущего этапа и вида конечной цели.

На основании результатов предыдущих этапов исследования принимается решение о действиях для дальнейших шагов. Это позволяет гибко адаптироваться к изменениям ситуации, а также оптимизировать процесс достижения результатов. Чем более детально проанализированы предыдущие данные, тем точнее будут сформулированы задачи и выбор методов для последующих этапов. Анализ всех этапов повысит вероятность успешного завершения исследования.

Актуальность темы обусловлена тем, что с развитием технологий произошел не только переход к цифровым форматам обработки информации, но и благодаря детальному планированию эксперимента произошли кардинальные изменения в области технологического процесса в производстве. И наличие таких экспериментальных инструментов характеризуются в качестве повышения прочности, пластичности, вязкости при температурно-силовых режимах.

Для оценки адекватности математической модели необходимо проводить тестирование модели на новых данных, чтобы подтвердить ее адекватность и ее применимость для практических расчетов.

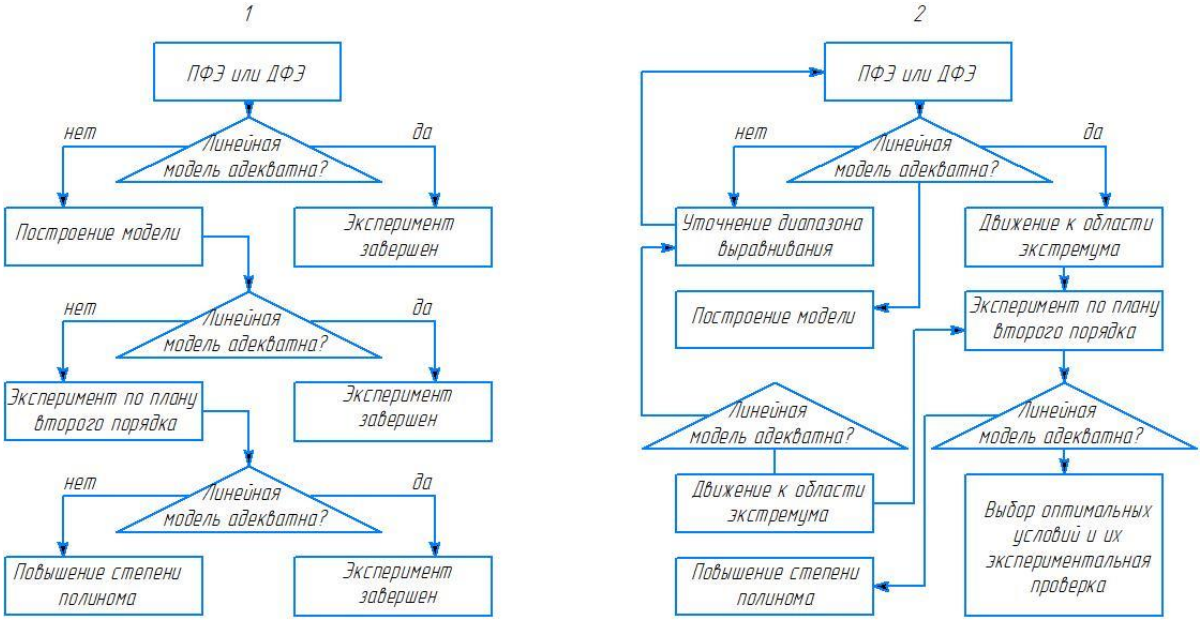


Рисунок 1 – Структурная схема решения задач по математическому описанию (1) и определению оптимальных условий протекания (2) технологических процессов.

Летательный аппарат обязан соответствовать всем требованиям, изложенным в технико-технических требованиям на изделие, касающейся массы, конструктивных особенностей, аэродинамических, тепловых, прочностных и других характеристик. Он должен обеспечивать безопасный полет, не повреждаясь под воздействием перегрузок, тепловых потоков и различных факторов внешней среды.

Процесс безопасного полета должен быть обеспечен соответствующими расчетами, проверками, испытаниями, проведенными на земле, а также на различных установках и проверках в ходе летных испытаниях. Комплексный план экспериментальной отработки и План отработки надежности – главные документы ЛА. На основании этих планов и других документов по отработке изделия, определяющих надежность в ходе эксперимента, наземную экспериментальную отработку можно разделить на такие экспериментальные виды, как:

– «Отработка узлов и агрегатов»;

– «Обработка на экспериментальных установках»;

– «Отработка прочности»;

– «Комплексная наземная экспериментальная обработка».

После испытания узлов, агрегатов, отдельных фрагментов конструкции и отработки на экспериментальных установках летательный аппарат необходимо испытать на взаимодействие всех систем и агрегатов в целом.

Для проведения отработки систем и агрегатов изготавливается несколько изделий в натуральную величину. Комплектация этих изделий производится в соответствии с задачами, которые решаются в процессе испытаний.

Для всех ЛА, обычно изготавливается 1-2 изделия, на которых отрабатываются:

– компоновка всех узлов, агрегатов, сборок, механизмов и систем на летательном аппарате с целью удобства их монтажа, обслуживания, ремонта;

– стандартизация трубопроводов пневмогидравлической схемы, кабельных жгутов и стволов, механических элементов систем управления исполнительными поверхностями и прочих коммуникационных путей;

– проверка и отработка электрических схем на функционирование;

– проведение испытаний всех систем, в том числе заправка топливом и всеми видами горюче-смазочных материалами, газами и другими ингредиентами для работы ЛА в нормальных условиях, запуска двигателя, его работы на разных режимах, пробные полеты и маневры;

– другие многочисленные отработки конструктивно-компоновочной схемы и работы летательного аппарата.

Также аппарат должен обеспечивать устойчивость в воздухе, быть управляемым и передавать наземному комплексу данные о параметрах полета и состоянии своих систем.

Управление проектами при разработке ЛА регламентируется государственными документами, устанавливающими все виды требований, как к изготовлению ЛА и его процессу разработки, так и к итоговым летно-техническим характеристикам и технико-экономическим показателям проекта. Технико-экономический анализ проекта создания ЛА также можно разделить на два составляющих компонента:

– проектный технико-экономический анализ проводится на этапе создания конструкторской документации;

– технико-экономическое обоснование на дальнейших стадиях.

В авиастроении ключевое значение имеют технико-экономические параметры летательных аппаратов, охватывающие как технические аспекты (грузоподъемность, дальность, скорость, расход топлива, ресурс систем), так и экономические показатели (себестоимость, амортизация, расходы на ТО, доходность), а также экологические и регуляторные требования. Сложность и взаимозависимость этих факторов делают традиционные ручные расчеты крайне трудоемкими и подверженными ошибкам.

Данные, полученные в ходе эксперимента, должны быть представлены в структурированном виде: таблиц – позволяют компактно представить количественные результаты; графики и диаграммы, которые упрощают визуализацию взаимосвязей между переменными; фотографии и видео могут быть полезны для демонстрации процессов или полученных образцов.

Корректное оформление результатов исследований важно для взаимопонимания между учеными и для дальнейшего использования полученных данных в других исследованиях.

После анализа полученных данных наступает этап их интерпретации. Этот процесс требует значительных усилий, так как одним из основных требований при интерпретации результатов является способность делать выводы, которые имеют практическое применение. Например, на основе аэродинамических испытаний можно сделать выводы о том, какая форма обводов наиболее оптимальна для достижения необходимых летных характеристик. Важно, чтобы интерпретация была основана на достоверных данных, и чтобы все выводы были подкреплены четкими результатами экспериментов.

Таким образом, разработка и оптимизация методики обработки экспериментальных данных для создания инструментальной базы технико-экономических характеристик летательных аппаратов является важной задачей, выступающей в качестве связующего звена между теоретическими исследованиями, инженерными разработками и практическими аспектами эксплуатации авиационной техники. В условиях стремительного развития технологий и авиационной отрасли в целом, необходимостью становится создание адекватных инструментов для анализа, интерпретации и представления данных, полученных в результате экспериментальных исследований.

Список литературы

1 Глухов, С. М. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие / С. М. Глухов, И. В. Котляров. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.

2 Каменский, А. С. Проектирование авиационных конструкций: учебное пособие / А. С. Каменский, В. Г. Колесников. – Москва: Машиностроение, 2020.

3 Киценко, Т. П. Методология, планирование и обработка результатов эксперимента в научных исследованиях: учебно-методическое пособие / Т. П. Киценко, С. В. Лахтарина, Е. В. Егорова. – Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020.

4 Костин, В. Н. Теория эксперимента : учебное пособие / В. Н. Костин, В. В. Паничев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2013.

5 Воробьёв, А. Л. Планирование и организация эксперимента в управлении качеством: учебное пособие / А. Л. Воробьёв, И. И. Любимов, Д. А. Косых. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014.

6 КОМПАС-3D. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kompas.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАЛОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рыжков Д.С.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Традиционно сложилось мнение, что автоматизация является прерогативой крупных промышленных предприятий с массовым и крупносерийным производством. Высокие капитальные затраты, сложность интеграции и необходимость в высококвалифицированном персонале часто считаются непреодолимыми барьерами для малых литейных цехов. Данная статья призвана показать, что в современном технологическом ландшафте существуют адаптивные, модульные и экономически обоснованные подходы к автоматизации, способные кардинально повысить конкурентоспособность малого литейного бизнеса.

Основу систем автоматизации составляют не роботизированные комплексы, а базовые элементы и принципы управления. Как следует из фундаментальных работ по автоматизации литейного производства, системы управления строятся на основе объекта управления, регулятора и обратной связи. Для малого производства ключевым является точечное внедрение систем автоматического регулирования на наиболее важных и трудоемких участках [1]. Например, поддержание постоянной температуры в сушильной камере или плавильном агрегате может быть реализовано с помощью относительно недорогих термоэлектрических преобразователей (термопар) и ПИД-регуляторов. Это позволяет не только стабилизировать технологический процесс, повышая качество отливок, но и существенно экономить энергоресурсы за счет исключения человеческого фактора и поддержания оптимального режима. На рисунке 1 изображены схемы терморегуляторов.

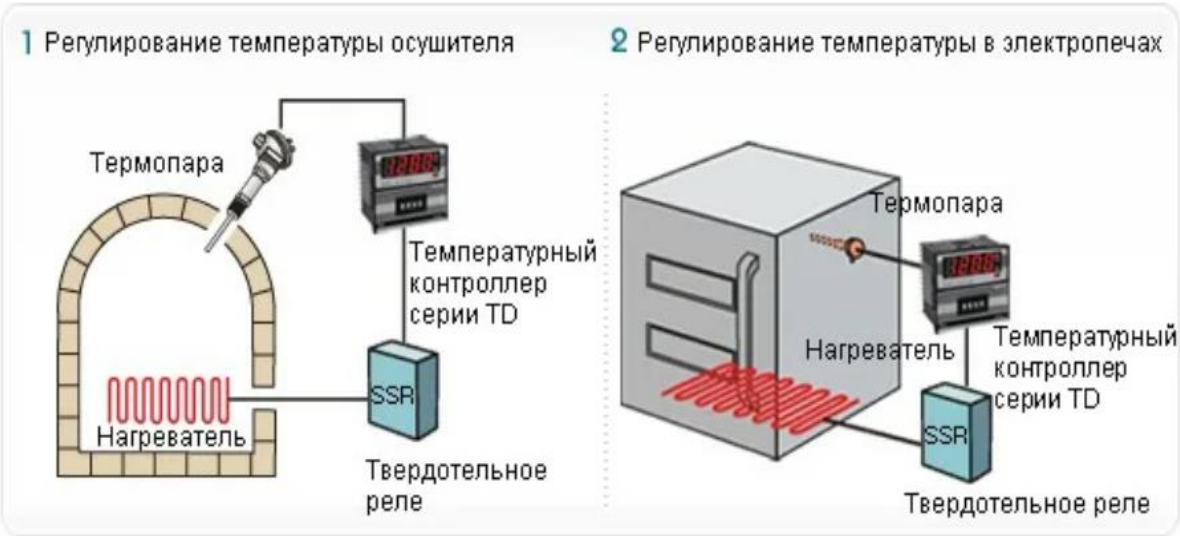


Рисунок 1– Схемы терморегуляторов

Важнейшим направлением для малого предприятия является автоматизация контроля параметров. Современные средства измерения, такие как тензометрические датчики для взвешивания шихты, емкостные сигнализаторы уровня в бункерах или бесконтактные пирометры для контроля температуры расплава, стали значительно доступнее. Их применение позволяет перейти от субъективной оценки оператора к объективному количественному контролю. Это напрямую влияет на снижение брака, экономию материалов и воспроизводимость качества отливок от партии к партии. Особенно актуально для малого производства внедрение автоматического контроля влажности формовочных смесей, например, емкостным или СВЧ-методом. Нестабильная влажность – частая причина дефектов, а простые системы контроля позволяют нивелировать этот риск без постоянного лабораторного анализа.

Проектирование систем автоматизации для малого цеха должно вестись по модульному принципу, начиная с отдельных, функционально завершенных узлов. Вместо создания единой сложной АСУ ТП (автоматизированной системы управления технологическим процессом) рационально поэтапно внедрять автономные контуры. Первичным этапом может стать автоматизация смесеприготовительного участка. Как показано в исследованиях, даже для смесителя периодического действия возможна организация автоматического цикла с использованием релейно-контакторной схемы или простого программируемого логического контроллера (PLC). Командоаппарат или PLC управляет последовательностью операций: дозирование компонентов по массе (с использованием тензодатчиков), сухое и мокрое перемешивание по времени, выгрузка готовой смеси. Это высвобождает рабочего и гарантирует однородность смеси.

Следующим логичным модулем является автоматизация термообрабатывающих процессов – сушки стержней и форм, плавки. Для малых индукционных печей критически важна автоматизация контроля состояния футеровки тигля, реализуемая, как описано в литературе, с помощью источника постоянного тока и реле блокировки. Это предотвращает аварийные прогоны и повышает безопасность. В дуговых печах малой емкости могут применяться электродные регуляторы, поддерживающие оптимальную длину дуги и стабильность плавки. Автоматизация даже простейшего участка заливки, основанная на сигнале от фотоэлемента, фиксирующего заполнение формы по выпору, исключает недоливы и переливы [3].

Главным элементом современной, но доступной автоматизации малого цеха является программируемый логический контроллер (PLC). В отличие от жестких релейно-контакторных схем, PLC обеспечивает гибкость. Он позволяет легко перепрограммировать технологические циклы под новую номенклатуру отливок, что жизненно важно для мелкосерийного производства. Современные PLC имеют модульную архитектуру, и предприятие может начать с контроллера на несколько дискретных входов/выходов для управления одним агрегатом, постепенно наращивая систему. Управляющая программа для таких задач, как цикл работы смесителя или формовочной машины, не требует сложного программирования и может быть составлена с использованием релейно-

контактной логики (лестничных диаграмм), понятной инженеру-технологу [4]. На рисунке 2 изображена структурная схема PLC.

Рисунок 2 – Структурная схема PLC

Процесс автоматизации малого литейного производства проходит не через повторение решений крупных заводов, а через грамотный выбор технологических «узких мест» и внедрение на них компактных, специализированных систем на базе современных датчиков, простых контуров регулирования и программируемых контроллеров. Такой подход превращает автоматизацию из недостижимой цели в последовательный и окупаемый процесс модернизации, ведущий к существенному укреплению технологического и рыночного потенциала предприятия [5].

Список литературы

1 Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства: учеб. пособие / Д.М.Кукуй, В.Ф.Одиночко. – Минск: Новое знание, 2008.

2 Титов, Н.Д. Основы автоматизации литейного производства и вычислительная техника: учеб. пособие / Н.Д. Титов, Л.Н. Сергеев. – М.: Машиностроение, 1983.

3 Дембовский, В.В. Автоматизация литейных процессов: справочник / В.В. Дембовский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.

4 Новиков, В.П. Автоматизация литейного производства. – Ч. 1: Управление литейными процессами: учеб. пособие / В.П. Новиков. – М.: МГИУ, 2008.

5 Бушуев, С.Д. Автоматика и автоматизация производственных процессов / С.Д. Бушуев, В.С. Михайлов. – М.: Высш. шк., 1990.

ОБРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ ТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Вежняев В.Б., Григорьев Д.С.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Порошковые стали подвергаются разнообразным методам термической обработки [1-3]. Однако, наличие пор в изделиях из таких сталей накладывает ряд специфических требований. Например, нагрев перед закалкой должен осуществляться в защитной атмосфере или в вакууме, чтобы предотвратить окисление. Кроме того, время нагрева и выдержки должно быть увеличено на 20-30% по сравнению с литыми сталями того же состава. Это связано с тем, что из-за низкой теплопроводности порошковых сталей требуется более интенсивное охлаждение.

С помощью рентгеноструктурного анализа, являющегося неразрушающим методом контроля, можно детально изучить структуру кристаллов. Этот метод позволяет установить параметры кристаллической решетки, ее симметрию и точное расположение атомов в элементарной ячейке. Кроме того, он открывает возможности для проведения фазового анализа материалов.

Исследование несовершенств кристаллического строения, определение размеров областей когерентного рассеяния, выявление преимущественных ориентаций и оценка микронапряжений также входят в сферу применения данного метода. После закалки и отпуска проводились испытания на твердость материала на твердомере ТН-301. Результаты представлены на рисунке 1.

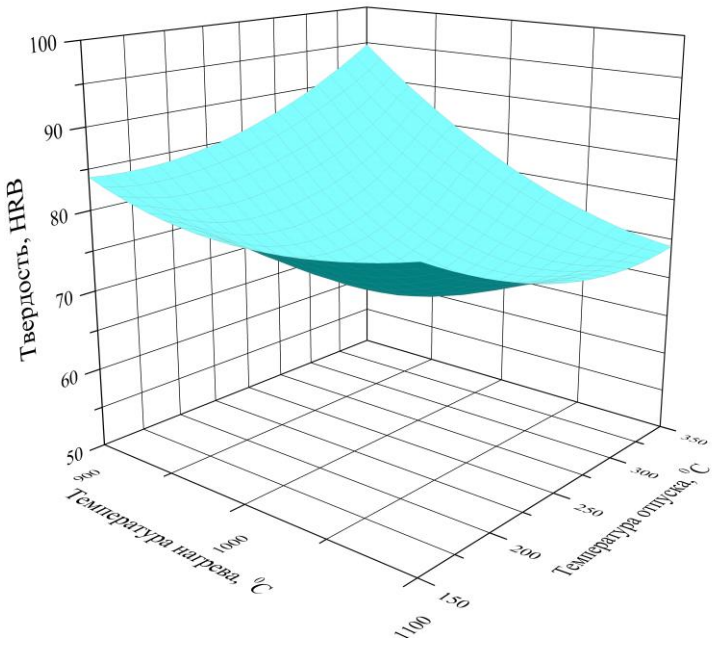
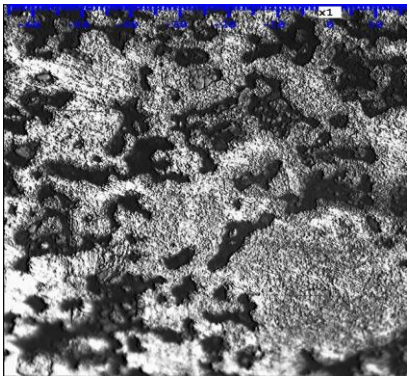
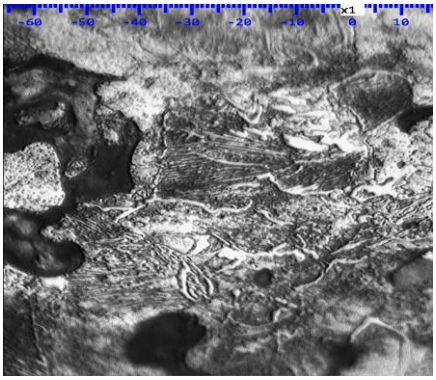


Рисунок 1 – Зависимость твердости порошковых втулок СП100Д2,5-2 от режимов термической обработки

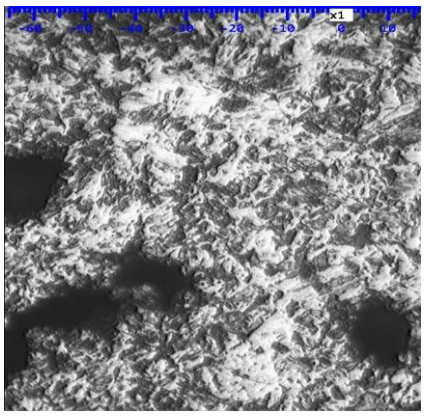
Визуализация структуры материала осуществлялась с помощью мультивизора Vizo – МЕТ-221. Микроструктура представлена на рисунке 2.



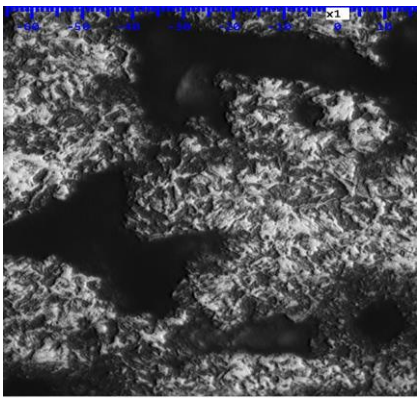
а



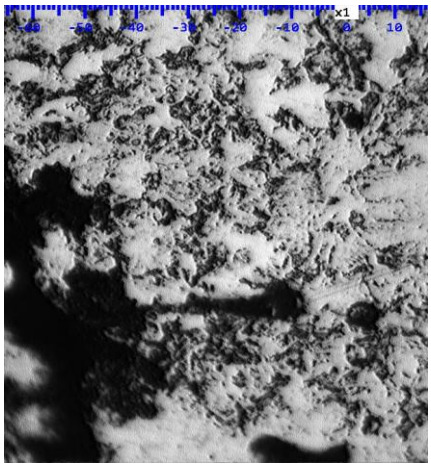
б



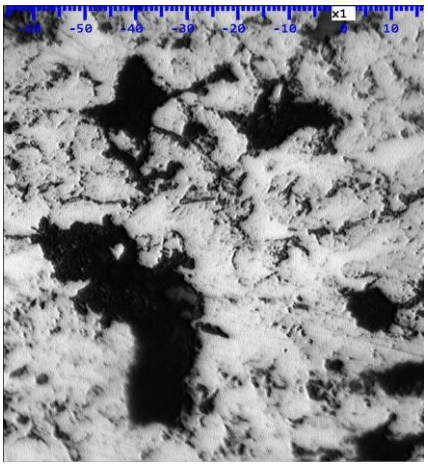
в



г



д



е

а – исходный образец; б – закалка 900 °С, охлаждение: вода, отпуск 200 °С 30 мин; в – закалка 900 °С, охлаждение: вода, отпуск 250 °С 30 мин; г – закалка 1000 °С, охлаждение: вода, отпуск 300 °С 30 мин; г – закалка 1000 °С, охлаждение: вода, отпуск 350 °С 30 мин; д – закалка 1100 °С, охлаждение: вода, отпуск 350 °С 30 мин.

Рисунок 2 – Микроструктура порошкового материала СП100Д2,5-2 после термической обработки

Испытание порошковых металлических втулок на радиальное сжатие до разрушения является распространенной методикой в мировой порошковой металлургии.

Для проведения испытаний втулок на радиальное сжатие использовалась испытательная машина УММ-5 с механическим приводом. Это позволяло осуществлять плавное и непрерывное нагружение со скоростью от 2 до 20 кН/с. Время до разрушения втулок в ходе испытаний не превышало 5 секунд.

Данные о пределе прочности при сжатии материала СП100Д2,5-2 представлены на рисунке 3.

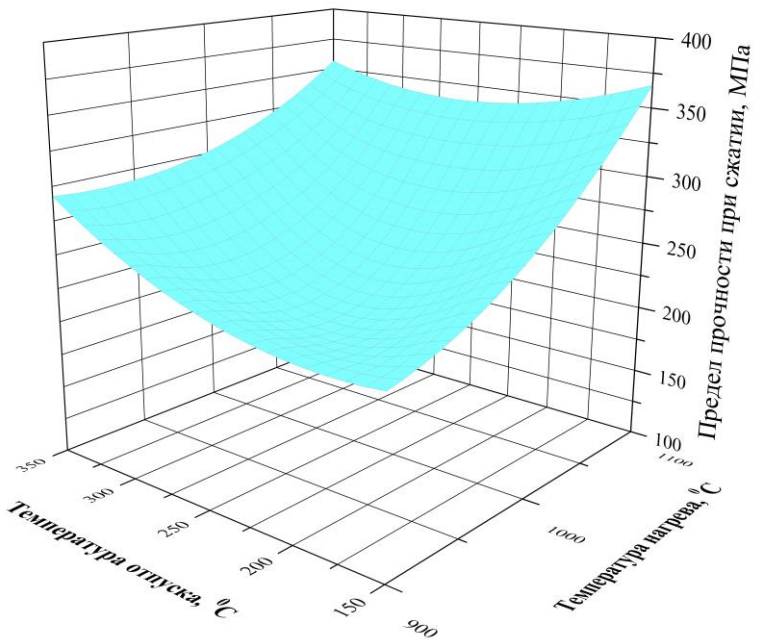


Рисунок 3 – Графическая зависимость твердости, HV от температуры нагрева под закалку, Тн, ºС, и скорости охлаждения, Vохл, °С/с материала СП100Д2,5-2

Анализ результатов экспериментов и собранных данных демонстрирует существенные различия в физических характеристиках различных закалочных сред. Эти отличия обусловлены их способностью с разной скоростью отводить тепло от нагретых деталей, подвергаемых закалке. Наиболее эффективной средой, обеспечивающей максимальную твердость обрабатываемого материала (в данном случае, воды), является та, которая характеризуется наиболее интенсивным теплоотводом.

Список литературы

1 Слесарчук, В.А. Материаловедение и технология материалов / В.А. Слесарчук. – Минск: РИПО, 2019. – 391 с.

2 Богодухов, С.И. Материаловедение / С.И. Богодухов. – М.: Старый Оскол, 2021. – 536 с.

3 Либенсон, Г.А. Процессы порошковой металлургии: в 2х томах / Г.А. Либенсон. – М.: МИСИС, 2001. – Т.1 – 368 с. – Т.2 – 320 с.

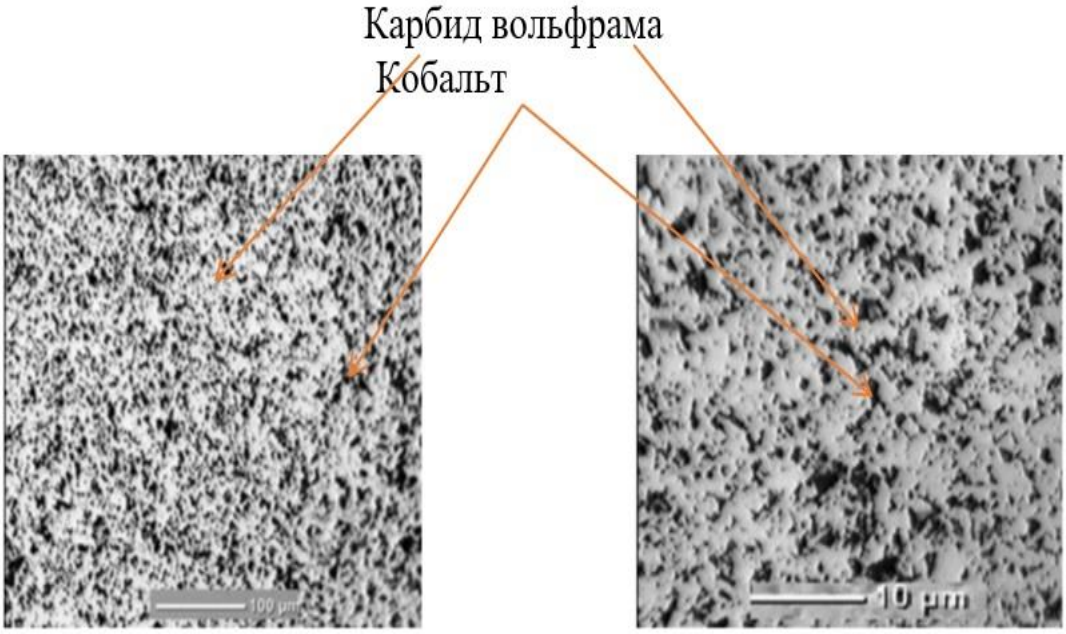
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДОГО СПЛАВА К8

Свиденко Е.В., канд. техн. наук, доцент, Вежняев В.Б., Григорьев Д.С.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Твердый сплав ВК8 идеально подходит для обработки вязких материалов или тех, что при обработке дают кусковую стружку [1-2]. Главное его достоинство – не столько исключительная твердость, сколько высокая прочность и устойчивость к ударам [3-5]. Целью данной работы было повышение эксплуатационных свойств твердого сплава ВК8 термической обработкой.

Микроструктура твердого сплава ВК8 показана на рисунке 1.

На рисунке 1 а хорошо видна равномерная зернистость образца, на рисунке 1 б при большем увеличении прослеживается обволакивание кобальтом карбидных зерен.



а б

а – увеличение х500; б – увеличение х1000

Рисунок 1 – Микроструктура твердого сплава ВК8

Также исследования выполняли на прямом металлографическом микроскопе Nikon Eclipse LV 150N.

Микроструктуры твердого сплава ВК8 до и после термообработки показаны на рисунках 2-5.

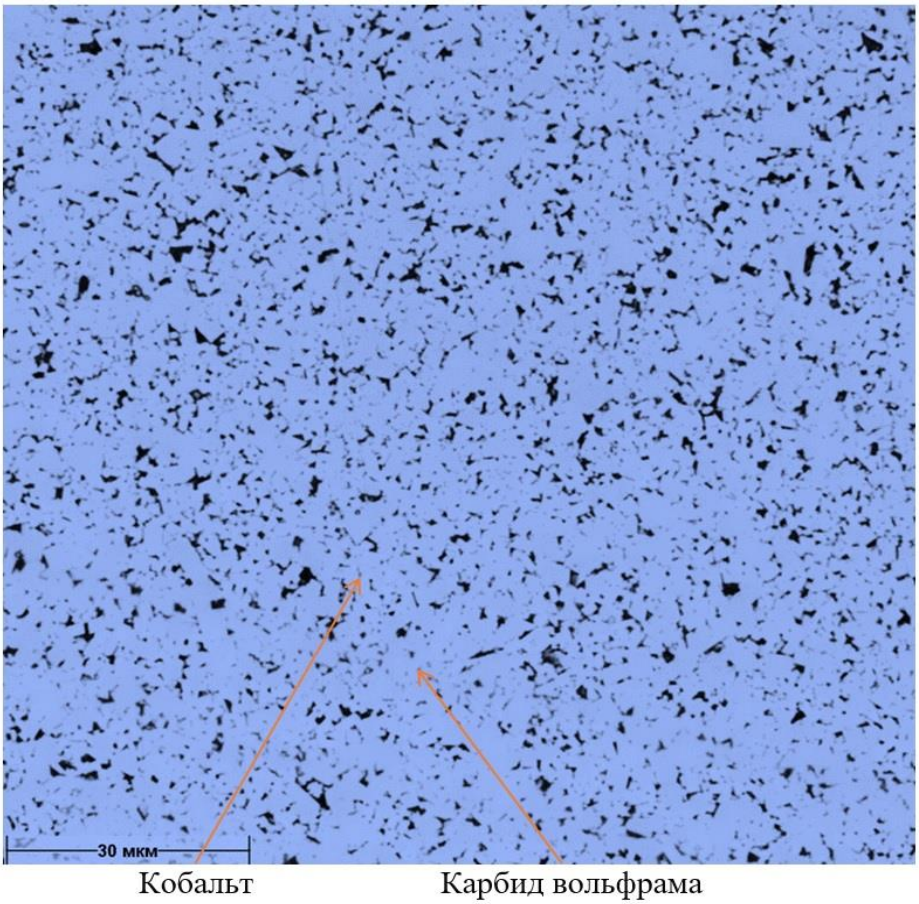


Рисунок 2 – Микроструктура образца № 1 (исходного); х1000

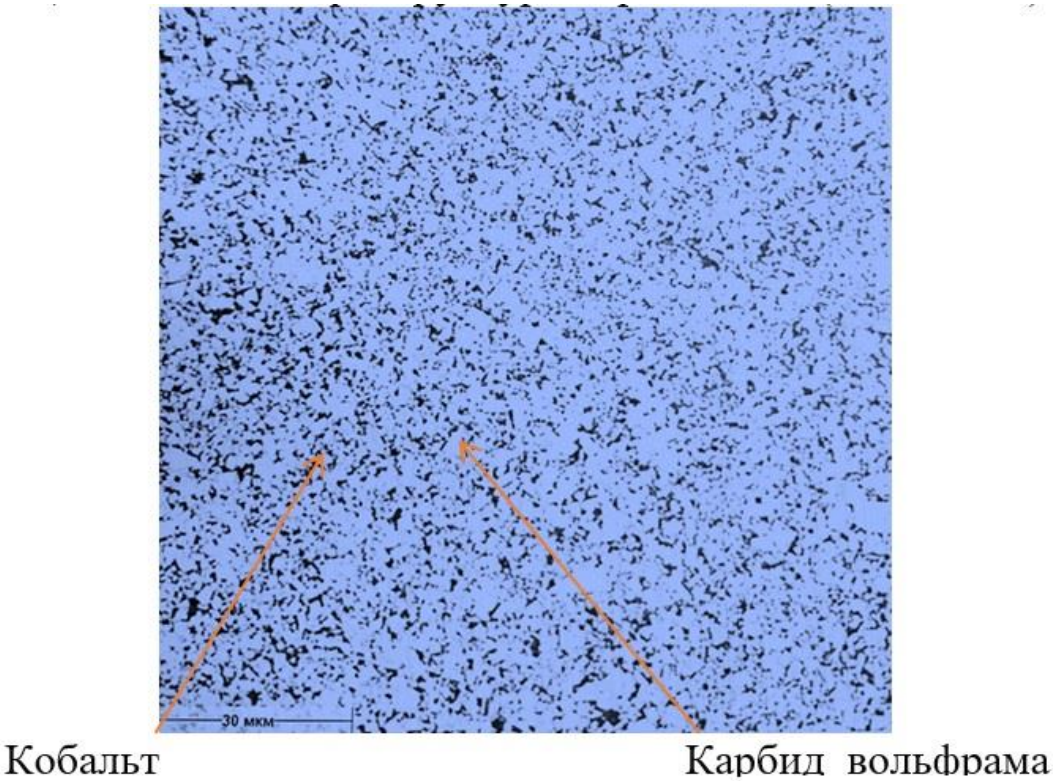
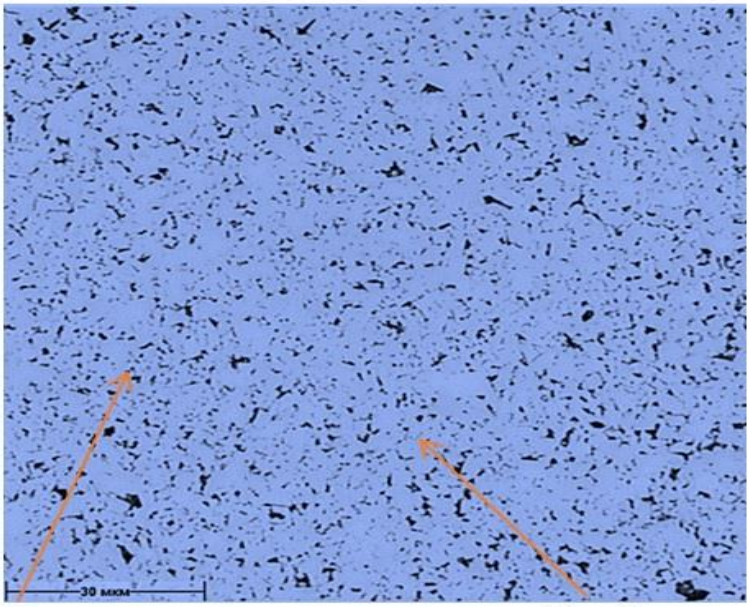


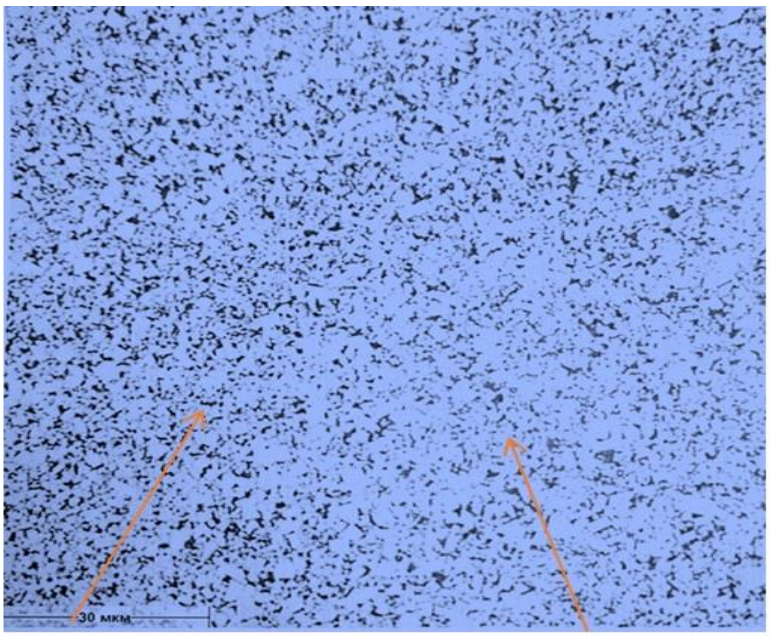
Рисунок 3 – Микроструктура образца № 2 после термической обработки (закалка при температуре 1150 ^{o}C в масло); х1000



Кобальт Карбид вольфрама

Рисунок 4 – Микроструктура образца № 3 после термической обработки (закалка при температуре 1150 ^{o}C, отпуск при температуре 600 ^{o}C); х1000

Микроструктура образца после термической обработки – закалки при температуре 1150 ^{o}C с последующим отпуском при температуре 600 ^{o}C и охлаждением на воздухе по сравнению с исходным образцом показывает рост (увеличение) карбидного зерна и более равномерное распределение кобальтовой прослойки.



Кобальт Карбид вольфрама

Рисунок 5 – Микроструктура образца № 4 после термической обработки (закалка при температуре 1200 ^{o}C в масло); х1000

Микроструктура образца после термической обработки изменяет зернистость. После закалки карбидное зерно увеличивается, в результате последующего отпуска – измельчается. После закалки при температуре 1200 °С с последующим отпуском при температуре 600 °С и охлаждением на воздухе микроструктура показывает измельчение карбидного зерна по сравнению с исходным образцом и вариантом с закалкой при температуре 1150 °С.

У образцов (исходного и после термической обработки) была измерена микротвердость под нагрузкой 100 г (0,1 кГс) на микротвердомере ПМТ-3. Измерения выполнялись в пяти точках на каждом образце. Результаты измерений представлены на рисунке 6.

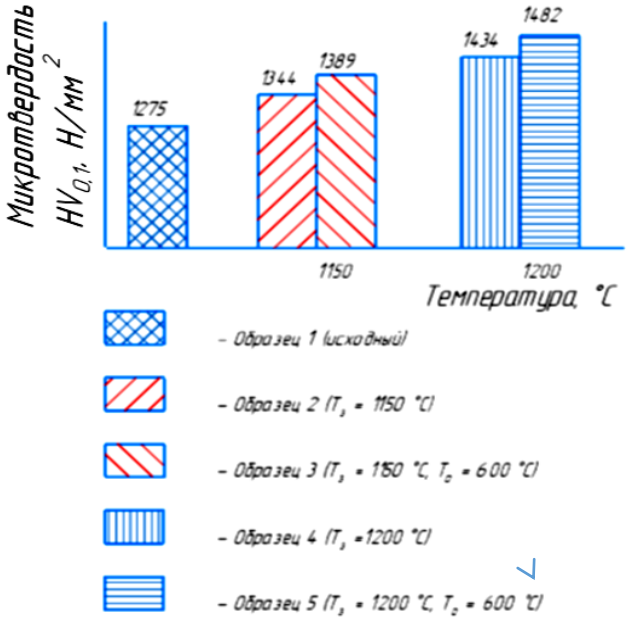


Рисунок 6 – Значения микротвердости образцов сплава ВК8 при различных режимах термической обработки

Зависимость микротвердости от режимов термообработки показана на рисунке 7.

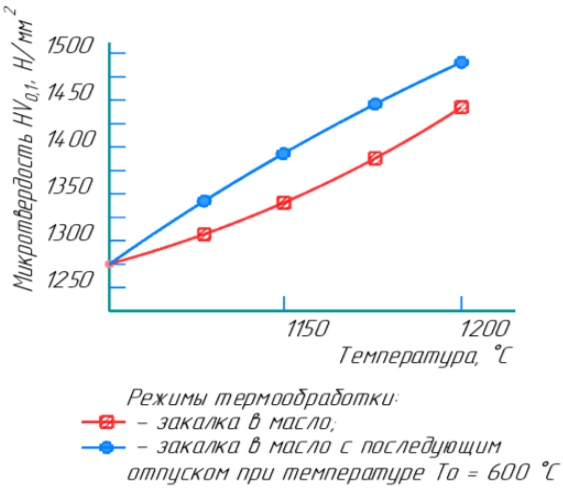


Рисунок 7 – Зависимость микротвердости от режимов термообработки

Как видно из полученных результатов, микротвердость Hμ образцов, подвергнутых термической обработке, возрастает по сравнению с исходным, причем тем больше, чем выше температура закалки. Проведенный отпуск влечет еще большее увеличение микротвердости.

При температуре закалки Тз = 1200 ^{o}C и последующем отпуске с температурой То = 600 ^{o}C микротвердость увеличилась до 15 %.

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. Чувилин. – М.: МИСИС, 2001. – 428 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.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ АНОДНОГО СЛОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Сейтаты И.С., Симонова А.В., Степанов А.Д.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Автоматизация процесса формирования анодного слоя является критическим фактором для массового производства высококачественных, безопасных и конкурентоспособных литий-ионных аккумуляторов. Она обеспечивает недостижимую вручную точность, повторяемость и эффективность на всех этапах – от приготовления пасты до контроля готовых пластин, напрямую влияя на ключевые характеристики элементов: удельную энергоёмкость, срок службы и стабильность работы [1].

Процесс нанесения анодного слоя – это высокотехнологичная операция формирования электрода на медной фольге (токосъёмнике), определяющая однородность и, как следствие, эксплуатационные характеристики аккумулятора. Рассмотрим его ключевые технологические этапы.

Первый этап – подготовка токосъёмника и приготовление шликера. Медная фольга перед нанесением проходит очистку и поверхностную обработку для улучшения адгезии активного слоя. Приготовление шликера – это ключевая стадия, определяющая реологические и электрохимические свойства анодного покрытия. Процесс представляет собой высокоточное смешивание компонентов в строгой последовательности [2-4]:

1) активный материал (графит, кремний-графитовый композит) – создаёт основу для интеркаляции ионов лития;

2) связующее (чаще PVDF) – формирует механический каркас слоя, обеспечивая адгезию к фольге;

3) электропроводящая добавка (технический углерод) – создаёт проводящую матрицу между частицами активного материала;

4) растворитель (обычно NMP) – регулирует вязкость суспензии для равномерного нанесения.

Критически важными параметрами контроля являются: вязкость (влияет на качество нанесения), однородность дисперсии и отсутствие агломератов, которые могут привести к локальным дефектам покрытия [5].

Ключевая операция – нанесение шликера на движущуюся медную фольгу с прецизионным контролем геометрии покрытия (толщины и ширины). В промышленности доминируют две технологии, различающиеся по принципу дозирования.

Первая технология это нанесение через щелевую головку. Шликер под давлением подаётся непосредственно на подложку через узкую прецизионную щель. Метод обеспечивает выдающуюся однородность слоя, высокую гибкость

по вязкости и минимальный расход материала («нулевой» или низкий перерасход). Считается наиболее перспективным для высококачественных изделий.

Вторая – гравировальное нанесение. Формирование слоя осуществляется вращающимся валом, поверхность которого покрыта микроячейками (гравировкой). Вал переносит дозированный объём шликера из ванны на фольгу. Метод позволяет достигать очень высоких скоростей и стабильно получать ультратонкие покрытия, однако может уступать в однородности и воспроизводимости на макроуровне [6].

После нанесения «мокрый» электрод поступает в протяжённую сушильную печь. Здесь под действием нагрева (от 80 °C до 150 °C) растворитель испаряется, и формируется стабильная пористая структура будущего анода [7].

Ключевой вызов – управление кинетикой сушки. Неправильный тепловой режим приводит к дефектам, напрямую влияющим на качество аккумулятора:

1) растрескивание и отслоение слоя от фольги;

2) неравномерная усадка, видимая как продольные полосы или волны («огурцы»);

3) перераспределение компонентов (миграция), ведущее к локальному ухудшению проводимости или адгезии.

Процесс управляется автоматически, а для снижения затрат и воздействия на окружающую среду внедряются замкнутые системы с рекуперацией и рециркуляцией растворителя [8].

Заключительный этап формовки электрода представляет формирование рабочей микроструктуры (каландирование). Электроду придают окончательные эксплуатационные характеристики. Под высоким давлением в каландре рыхлый слой превращается в прочный, плотный и однородный «ковёр». Уплотнение напрямую увеличивает количество активного материала в единице объема элемента, то есть повышает ёмкость аккумулятора. Одновременно создаётся разветвлённая сеть электрических контактов. Главный выходной параметр – контролируемая пористость. Слишком плотный электрод не сможет быстро принимать ионы, слишком рыхлый – будет иметь низкую ёмкость. Задача технологии – найти и точно воспроизвести этот идеальный баланс для каждой конкретной рецептуры [9].

Автоматизация процесса нанесения анодного слоя преследует несколько фундаментальных целей, достижение которых лежит в основе современного производства литий-ионных аккумуляторов [10-14].

Первостепенной задачей является гарантия высочайшего качества продукции, которое обеспечивается достижением микронной точности толщины покрытия (± от 1 до 3 мкм) и его безупречной однородности. Эти параметры напрямую определяют ключевые характеристики конечного изделия: удельную ёмкость, долговечность и безопасность. Другой критически важной целью выступает масштабирование – возможность перехода от лабораторных образцов к стабильному высокоскоростному выпуску на линиях, работающих со скоростью до 100 метров в минуту, без малейшей потери в качестве. Не менее значима экономическая составляющая, включающая снижение себестоимости за счёт

минимизации ручного труда, экономии дорогостоящих материалов (активной массы, связующего, растворителя) и резкого сокращения производственного брака. Завершает этот комплекс целей всеобщая цифровизация и обеспечение полной прослеживаемости, что подразумевает создание исчерпывающей цифровой истории для каждого метра электродной ленты, необходимой для глубокого анализа дефектов, оптимизации процессов и выполнения требований заказчиков.

Реализация этих задач возможна благодаря развёртыванию сложной автоматизированной технологической линии, состоящей из взаимосвязанных высокоинтеллектуальных компонентов. Центральным управляющим элементом, «мозгом» производства, выступает интегрированная автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), или SCADA/MES-система. Она в реальном времени управляет всеми параметрами, собирает и архивирует данные с каждого датчика, а также обеспечивает единый интерфейс для оператора и удалённый мониторинг. Под её контролем функционирует участок приготовления и подачи шликера, где автоматические смесители осуществляют роботизированную загрузку компонентов и точный контроль параметров смешивания для получения идеально диспергированной пасты, а замкнутый контур рециркуляции поддерживает её стабильность [15-16].

Сердцем линии является автоматизированный комплекс нанесения покрытия, где применяются два высокоточных метода.

Щелевое нанесение (Slot-Die), при котором паста экструдируется через прецизионную головку, славится лучшей однородностью и малым расходом.

Гравировальное нанесение (Gravure), формирующее слой с помощью дозирующего вала, позволяет достигать очень высоких скоростей.

Далее нанесённый слой поступает в многосекционную сушильную печь с интеллектуальным управлением, где независимое ПИД-регулирование в каждой зоне обеспечивает оптимальный профиль сушки, а система рекуперации возвращает до 95 % растворителя в цикл.

Последующее каландрирование осуществляется на прецизионном каландре с обратной связью: лазерные толщиномеры в реальном времени передают данные в АСУ ТП, которая корректирует давление для достижения заданной плотности и пористости. Неотъемлемой частью линии является система стопроцентного неразрушающего контроля, включающая машинное зрение для выявления дефектов, лазерные сканеры для измерения толщины и дефектоскопию на основе ИИ. Завершает процесс финишная обработка – автоматическая резка ленты на пластины и их роботизированная упаковка [17].

Развитие технологии диктует несколько ключевых трендов. На первый план выходит интеграция искусственного интеллекта и предиктивной аналитики для заблаговременного прогнозирования качества. Широкое распространение получает концепция цифрового двойника – виртуальной модели всей линии для симуляции и оптимизации. Экологические и экономические причины стимулируют переход на водные шликеры, что требует новых решений для сушки и защиты от коррозии. Повышение энергоэффективности через внедрение ре-

куператоров и модульность линий для быстрой переналадки под разные форматы ячеек и химический состав анодов также являются определяющими направлениями [18].

Процесс формирования анода завершается операциями, которые адаптируют непрерывную ленту под требования сборочного производства:

1. форматирование. Непрерывная лента нарезается либо на крупные рулоны для дальнейшего использования, либо сразу на готовые пластины-полуфабрикаты;

2. контроль качества. Пропуск бракованного анода на сборку аккумулятора недопустимо дорог, поэтому внедрен стопроцентный автоматический контроль с детальной записью данных для полной прослеживаемости каждой партии или рулона;

3. передача в чистую зону. Анодные пластины, как ключевой сухой компонент, поступают в среду с контролируемой чистотой (чистая комната), где начинается их сборка в многослойную структуру с сепаратором и катодом для формирования ячейки. На этом контур производства анода считается закрытым.

Совокупность этих решений приводит к значительному экономическому и стратегическому эффекту. Происходит снижение капитальных и операционных затрат (CAPEX/OPEX) на единицу продукции благодаря повышению выхода годных изделий и сокращению трудозатрат. Существенно ускоряется вывод новых продуктов на рынок за счёт возможности быстрой отладки рецептур и режимов на цифровом двойнике. В итоге это укрепляет конкурентные позиции производителя, позволяя гарантировать то высокое и стабильное качество продукции, которое требует современный рынок электромобилей и стационарных накопителей энергии [19-20].

Таким образом, автоматизация формирования анодного слоя выступает приоритетной задачей современного производства литий-ионных аккумуляторов. Она трансформирует высокотехнологичный многоэтапный процесс – от приготовления гомогенного шликера до прецизионного каландрирования – в стабильный, воспроизводимый и экономически эффективный контур. Внедрение интегрированных систем управления (АСУ ТП), роботизированных комплексов и 100 % автоматического контроля обеспечивает недостижимую вручную точность и однородность покрытия, что напрямую определяет ключевые потребительские свойства аккумуляторов: удельную энергоёмкость, долговечность и безопасность.

Дальнейшее развитие, движимое интеграцией ИИ, цифровых двойников и переходом на экологичные материалы, открывает путь к созданию гибких, самооптимизирующихся производств (Smart Factory). Это не только укрепляет конкурентные позиции производителей, но и является обязательным условием для удовлетворения растущего глобального спроса на качественные и доступные системы хранения энергии.

Список литературы

1 Новиков, П. А. Разработка технологии изготовления материалов для электродов литиевых источников тока с повышенными эксплуатационными характеристиками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.06 / Новиков Павел Александрович. – Санкт-Петербург, 2017. – 22 с.

2 Новые высокоэффективные электродные материалы для литий- ионных аккумуляторов / С. М. Хантимеров, Р. Р. Фатыхов, Р. Р. Гарипов, Н. М. Сулейманов // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016 (МНТК «ИМТОМ-2016») : материалы Международной научно-технической конференции, Казань, 07–09 декабря 2016 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий», 2016. – С. 263-267.

3 Новые анодные материалы на основе TIO2 для литий-ионных аккумуляторов в морской технике / С. В. Гнеденков, Д. П. Опра, С. Л. Синебрюхов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 3-1(41). – С. 122-127.

4 Антипов, Е. В. Металл-ионные аккумуляторы: проблемы и перспективы / Е. В. Антипов // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение : материалы V Международной научно-практической конференции, Тамбов, 12–13 октября 2023 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 595-596.

5 Скундин, А. М. Твердотельные тонкопленочные литий-ионные аккумуляторы (обзор) / А. М. Скундин, Т. Л. Кулова // Электрохимия. – 2025. – Т. 61, № 1. – С. 47-70. – DOI 10.31857/S0424857025010029.

6 Морачевский, А. Г. Применение лития, его сплавов и соединений в химических источниках тока (К 25-летию начала производства литий-ионных аккумуляторов) / А. Г. Морачевский, А. А. Попович, А. И. Демидов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – № 1(238). – С. 65-79. – DOI 10.5862/JEST.238.7.

7 Тарнопольский, В. А. Некоторые тенденции усовершенствования катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов / В. А. Тарнопольский // Электрохимическая энергетика. – 2008. – Т. 8, № 1. – С. 3-11.

8 Барсуков, В. З. Новые активные материалы для отрицательных электродов литий-ионных аккумуляторов / В. З. Барсуков, Е. А. Ильин, М. Яскула // Электрохимическая энергетика. – 2002. – Т. 2, № 4. – С. 153-164.

9 Исследование новых материалов для литиевыххимических источников тока / И. А. Пуцылов, Д. Н. Агафонов, С. Е. Смирнов, О. Р. Ахмедова // Наука в центральной России. – 2013. – № 4S. – С. 16-20.

10 Косова, Н. В. Перспективные катодные материалы для натрий-ионных аккумуляторов / Н. В. Косова, Д. О. Семыкина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 342-354. – DOI 10.15372/KhUR2021311.

11 Дубасова, В. С. Исследования и производство материалов для литий-ионных аккумуляторов в России и за рубежом. Электродные материалы зару-

бежного производства / В. С. Дубасова, Л. С. Каневский // Электрохимическая энергетика. – 2005. – Т. 5, № 2. – С. 109-119.

12 Podlesnov, E. Review of Materials for Electrodes and Electrolytes of Lithium Batteries / E. Podlesnov, M. G. Nigamatdianov, M. V. Dorogov // Reviews on Advanced Materials and Technologies. – 2022. – Vol. 4, No. 4. – P. 39-61. – DOI 10.17586/2687-0568-2022-4-4-39-61.

13 Скундин, А. М. Литий-ионные аккумуляторы: последние достижения и проблемы / А. М. Скундин // Электрохимическая энергетика. – 2005. – Т. 5, № 2. – С. 65-73.

14 Физико-химические аспекты наноматериалов для литий-ионных аккумуляторов / П. А. Болоев, Т. П. Гергенова, Е. В. Бондарчук [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. – 2024. – № 4. – С. 24-32. – DOI 10.18101/2306-2363-2024-4-24-32.

15 Фундаментальные проблемы применения литий-ионных аккумуляторов в области морских технологий / Д. П. Опра, С. В. Гнеденков, С. Л. Синебрюхов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2-2(40). – С. 108-114.

16 Ольшанская, Л. Н. Положительные электроды для литиевых аккумуляторов: проблемы, направления выбора / Л. Н. Ольшанская // Электрохимическая энергетика. – 2002. – Т. 2, № 2. – С. 66-78.

17 Состояние и перспективы развития мобильных источников тока / В. В. Слепцов, Л. В. Кожитов, А. О. Дителева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 217-233. – DOI 10.17073/1609-3577j.met202305.528.

18 Электродные материалы с улучшенными характеристиками для литиевых и натриевых электрохимических источников тока: результаты и перспективы (Обзор) / Д. П. Опра, А. К. Цветников, С. Л. Синебрюхов [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2021. – № 5(219). – С. 65-78. – DOI 10.37102/0869-7698_2021_219_05_06. – EDN AMROCP.

19 Rumyantsev, A. M. Atomic layer deposition of tin oxide using tetraethyltin to produce high-capacity Li-ion batteries / A. M. Rumyantsev [et al.] // Journal of Vacuum Science and Technology A. – 2017. – Vol. 35, Is. 1. – Art. no. 01B137.

20 Maximov, M. Y. Application of atomic layer deposition in Li-ion batteries / M. Y. Maximov [et al.] // NANOCON 2016 : Conference Proceedings. – Ostrava, 2016. – P. 296–302.

АФАНАСИЙ ШАБСКИЙ – ВЫДАЮЩИЙСЯ РОССИЙСКИЙ ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР И ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬ

Семенов В.Г., канд. ист. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбургский регион традиционно занимает видное место в истории российской аэронавтики и космонавтики, являясь альма-матер для таких выдающихся деятелей, как Ю.А. Гагарин, А.С. Викторенко В.В. Лебедев, Ю.В. Лончаков и Ю.Н. Рыжиков. Однако вклад предшественников, работавших на заре отечественного воздухоплавания, в частности, Афанасия Ивановича Шабского**,** в научной историографии отражен крайне фрагментарно. Биография и технические изыскания военного инженера и конструктора одного из первых российских проектов дирижабля требуют детального изучения.

Недостаточная изученность деятельности А. И. Шабского может быть частично объяснена его эмиграцией в Сербию после Гражданской войны, что прервало связь его российской деятельности с последующей советской наукой. В связи с этим целью данной работы является восстановление биографии конструктора. Особый акцент сделан на изучении факторов профессионального становления**:** периоде обучения во 2-м Оренбургском кадетском корпусе и влиянии его семейного окружения на формирование его как технического специалиста.

Афанасий Шабский родился 18 января 1879 года в г. Ташкенте в семье делопроизводителя окружного интендантского управления Туркестанского военного округа Ивана Ивановича Шабского, имевшего за отличия по службе шесть орденов, включая орден Св. Владимира 3-й степени [10, с. 65]. Высокий социальный статус отца позволил дать детям хорошее образование. Два старших сына, Платон и Константин, учились в Петербурге. Афанасий получил право учиться во 2-м Оренбургском кадетском корпусе, открытом в 1887 году в Оренбурге для детей офицеров и чиновников, служивших в Туркестанском крае и Закаспийской области.

На момент поступления Афанасия Шабского в военно-учебное заведение, в нем уже было две роты, а к августу 1892 года корпус состоял уже из трех рот. Полностью он был укомплектован в августе 1893 года. В корпус было принято 314 кадет, ровно столько, сколько разрешалось иметь согласно положению о 2-м Оренбургском кадетском корпусе. Режим дня, как и в других российских кадетских корпусах, был строгим. В шесть часов утра – подъем. С утра до трех часов дня – уроки по пятьдесят минут с переменами по десять минут. После завтрака – большая перемена, во время которой занимались гимнастикой, танцами, ручным трудом, пением, фехтованием. В это же время бывали прогулки. В половине четвертого обедали. От четырех до шести часов вечера у кадет было свободное время, в которое они обычно занимались музыкой. С шести до

восьми часов готовили уроки, потом был вечерний чай. Такой распорядок с детства приучил будущего военного инженера Афанасия Шабского к дисциплине и самостоятельности.

Каждое лето у кадет были сборы в летнем лагере на горе Маяк близ Оренбурга. Кадеты старших классов в составе строевой роты занимались военно-подготовительными упражнениями. После их окончания они сдавали установленный экзамен, по результатам которого переводились в следующий класс, а самые старшие выпускались из корпуса, имея достаточно высокую общую и военную подготовку. Афанасий Шабский учился все 7 лет прилежно, и как успешный учащийся, получил право выбрать для продолжения обучения любое военное училище. Он записался в престижное столичное Николаевское инженерное училище. 17 сентября 1897 года Афанасий Шабский окончил 2-й Оренбургский кадетский корпус и вместе с двумя лучшими выпускниками военно-учебного заведения Виктором Гулишамбаровым и Леонидом Флавицким был принят в военное училище [8, с. 540-541].

Профессиональное становление А.И. Шабского проходило на фоне успешной инженерной карьеры его старших братьев, служивших на передовой технической отрасли того времени – железнодорожном транспорте. Брат Платон после окончания в 1895 году С.-Петербургского практического технологического института стал инженером-технологом и служил в министерстве путей сообщения штатным инженером 9-го класса. П.И. Шабский принимал участие в постройке участка Закаспийской железной дороги от Самарканда до Андижана, с 1914 года был начальником отделения службы дороги. В его честь разъезд на железной дороге между г. Андижаном и станцией Черняево был назван Шабским [2, с. 430].

Второй брат Константин после окончания Петербургского университета в 1896 году служил в департаменте железных дорог, затем – делопроизводителем отдела по юридической части. Помимо техники Константин Иванович увлекался шахматами. Впоследствии был одним из сильнейших петербургских шахматистов начала 20-го века (Н.И. Греков) [1, с. 106].

После поступления Афанасия Шабского в Николаевское инженерное училище его отец тоже переехал из Ташкента в Санкт-Петербург. Иван Иванович Шабский ушел со службы по прошению и был уволен 23 февраля 1897 года с мундиром и производством в действительные статские советники за выслугу лет. Таким образом, гражданский, но технически ориентированный, семейный фон существенно повлиял на дальнейший путь Афанасия Шабского от кадетского корпуса к экспериментальной аэронавтике.

В военном училище он полностью посвятил себя изучению новых предметов. Особенно тех, без которых невозможно рассчитать, спроектировать и построить ни одного инженерного сооружения. Среди них: сопротивление материалов, статика, физика, электротехника, химия, топография, высшая математика. Курс наук в Николаевском инженерном училище Афанасий Шубский завершил в 1899 году по 1-му разряду.

9 августа 1899 года он был выпущен из училища подпоручиком с направлением в 20-й саперный батальон в город Олиту Виленской губернии. 1 октября 1902 года военный инженер Шабский был произведен в поручики. В июне 1904 года началась его служба в Михайловской крепостной минной роте в г. Батуми Кавказского военного округа. Через полгода Афанасий Иванович был переведен в постоянный состав военной электротехнической школы, затем – в электротехническую роту. В конце декабря 1904 год А.И. Шабский был награжден орденом Св. Станислава 3-й степени. 7 декабря 1905 года он выступил с докладом «Прогресс авиации в последние годы» в воздухоплавательном отделении Русского технического общества.

В августе 1906 года приступил к службе в 11-м саперном батальоне в г. Одессе. 1 октября 1906 года военный инженер был произведен в штабс-капитаны. 2 ноября 1906 года был переведен в постоянный состав Учебного воздухоплавательного парка, располагавшегося в окрестностях Санкт-Петербурга. А.И. Шабский постоянно совершенствовал свое образование. Он окончил офицерскую электротехническую школу по 1-му разряду и офицерскую воздухоплавательную школу по 1-му разряду. Вместе с ним, начиная с 1907 года, пилотированием аэростатов и дирижаблей учился овладевать Георгий Горшков, выпускник Оренбургского Неплюевского кадетского корпуса, будущий военный летчик и первый в мире летчик Дальней бомбардировочной авиации [9, с. 65].

Во время освоения программы учебного воздухоплавательного парка военный инженер Шабский увлекся воздухоплаванием и идеей строительства дирижабля. В 1908 году им были сделаны все конструктивные расчеты и руководство по механической части для первого русского военного дирижабля типа «Учебный», который был легче воздуха и имел объем оболочки около 1200 кубических метров. Опытный полет дирижабля состоялся 28 августа 1908 года на высоте 460 метров. Вместе с А.И. Шабским, управлявшим аэростатом, на платформе находился унтер-офицер Чимола, следивший за работой двигателя. Полет завершился успешно, и 2 декабря 1908 года А.И. Шабский был награжден орденом Св. Станислава 2-й степени.

Для содействия развитию воздухоплавания в России в научно-технических, военных, спортивных и других формах в конце 1908 года в Петербурге был учреждён Всероссийский аэроклуб. В составе общества были созданы научно-технический и спортивный комитеты. А. И. Шабский стал секретарем спорткомитета, под его председательством проходили заседания аэростатистическаго отдела.

Афанасий Иванович Шабский был автором ряда научных работ, таких, как: «Работа аппаратов, тяжелейших воздуха», «Управляемые аэростаты: Теория, конструкция и историческое развитие управляемых аэростатов. Вып. 1–4», «Что такое воздушный винт и как его рассчитать?», «Теория свободных аэростатов» и других. Большинство из них были опубликованы в журнале «Воздухоплаватель» в 1905-1908 годах. 29 апреля 1909 года в Михайловском манеже открылась международная выставка новейших изобретений в мире техники и

промышленности. В воздухоплавательном отделе был помещен аэроплан без двигателя – планер Шабского.

Летом 1909 года в Россию был доставлен купленный во Франции управляемый аэростат, получивший название «Лебедь». 25 августа того же года состоялось его испытание. Вместе с Шабским в гондоле аэростата находился генерал-майор Кованько и поручик Горшков. За полетами наблюдали инженер-генерал Александров, член Военного совета генерал Ставровский и офицеры постоянного и переменного состава парка. Все эволюции «Лебедь» проделывал на высоте 400 метров. Аэростат отлично слушался управления и описывал круги, восьмерки, повороты и опустился в намеченном месте [5].

Вскоре штабс-капитан А. И. Шабский совершил на дирижабле «Лебедь» трехчасовой полет над Петербургом. Рулевыми в этом полете помимо него были: поручик Нижевский, механик Чемала, помощник Полойко и пассажир поручик Матвеев. Поднявшись в 7 часов 30 минут утра из деревни Харюзи на высоте 150 метров, аэростат «Лебедь» пошёл вдоль полотна Балтийской дороги, а в 8 часов утра достиг Красного Села. В черте города аэростат маневрировал над Невским, облетел Казанский собор, повернул к Мариинской площади мимо здания Сената, обогнул Исаакиевский собор, пересёк Неву и направлялся к Петербургской стороне. На обратном пути через Вознесенский и Рижский проспекты, взяв значительную большую высоту, «Лебедь» благополучно достиг учебного воздухоплавательного парка, где спустился.

В ходе лётных испытаний выяснилось, что рули дирижабля имеют недостаточную площадь, а гондола плохо собрана, и в 1910 г. А.И. Шабский переделал «Лебедь» [11, с. 55].

14 ноября 1909 года аэронавты штабс-капитан Шабский и поручик Коптенко совершили полет на воздушном шаре «С.-Петербург № 3» продолжительностью 6 часов, пролетев расстояние в 240 верст до города Порохова в Псковской губернии с наивысшей точкой подъема 1080 метров. Интерес к воздухоплаванию был огромным, и Афанасий Иванович Шабский выступал с лекциями на эту тему. 11 декабря 1909 года в императорской Николаевской военной академии познакомил слушателей с «Устройством и свойствами управляемых воздухоплавательных аппаратов». Техническую сторону вопроса он разъяснял просто и понятно, сопровождая ее изображениями на экране [6].

12 августа 1910 года штабс-капитан Шабский был награжден орденом Св. Владимира 4-й степени. Этим же приказом орденом Св. Станислава 2-й степени был награжден поручик Брест-Литовского крепостного воздухоплавательного отделения Георгий Горшков. В сентябре 1910 года во Всероссийском празднике воздухоплавания в Санкт-Петербурге наряду с военными аэропланами приняли участие управляемые аэростаты. Военный министр России генерал Сухомлинов, посетивший этот праздник, в приказе по военному ведомству № 576 от 18 октября 1910 года назвал их участие в празднике блестящим. Он выразил уверенность в том, что в самом ближайшем будущем военное воздухоплавание в российской армии будет находиться на подобающей высоте [7].

18 октября 1910 года штабс-капитан Афанасий Иванович Шабский был произведен в капитаны. В том же году он завершил строительство дирижабля «Ястреб», на котором в 1912 году выполнили 52 полета – максимальное количество за все годы своей службы. Общая их продолжительность составила 78 часов, расстояние – 4428 километров, наибольшая высота – 1800 метров. Для дирижабля это был всероссийский рекорд [11, с. 63]. В 1911 году А. И. Шабским был построен дирижабль «Микст», на котором было выполнено 22 полета. Также по его проекту был построен «Гигант», самый крупный дирижабль в России.

С 24 октября 1912 года конструктор Шабский заведовал практическими занятиями офицерского класса офицерской воздухоплавательной школы. 18 ноября 1913 года приказом начальника Генерального штаба № 56 по части воздухоплавания был назначен членом приемной воздухоплавательной комиссии при воздухоплавательной части управления Генерального штаба с освобождением от несения службы по штатной должности [3, л. 8].

Во время Первой мировой войны, с сентября 1914 года, военный инженер А.И. Шабский был командиром военного дирижабля «Альбатрос», находясь в составе 3-й воздухоплавательной роты, в которой служил и его однокашник по 2-му Оренбургскому кадетскому корпусу штабс-капитан Е.Р. Гулишамбаров. В 1915-1916 годах командовал 12-й воздухоплавательной ротой, служил в запасном понтонно-моторном батальоне [4, л. 17]. После Гражданской войны эмигрировал в Сербию.

Анализ архивных материалов и источников позволил провести комплексную реконструкцию биографии Афанасия Ивановича Шабского, подтвердив его статус как пионера российского воздухоплавания и разработчика одного из первых известных проектов дирижабля в России. Личность Шабского, тесно связанная с Оренбургским краем, представляет собой важную, но до сих пор недооцененную страницу в истории российского технического просвещения. Дальнейшее изучение наследия А. И. Шабского позволит окончательно определить его место в пантеоне российских изобретателей, стоявших у истоков отечественной аэронавтики.

Список литературы

1 Греков Н. И. Сто двадцать избранных партий М. И. Чигорина / Н. И. Греков. – М.: Физкультура и спорт, 1952. – 376 с.

2 Путеводитель по Туркестану и железным дорогам Средне-Азиатской и Ташкентской. – СПб., 1913. – 552 с.

3 Российский государственный военно-исторический архив (РГВИА). Ф. 408. Оп. 1. Д. 143. Л. 8.

4 Российский государственный военно-исторический архив (РГВИА). Ф. 408. Оп. 1. Д. 9460. Л. 17.

5 Русский инвалид. – 1909. – № 185 (26 авг.).

6 Русский инвалид. – 1909. – № 270 (13 дек.).

7 Русский инвалид. – 1910. – № 231 (24 окт.).

8 Семёнов В. Г. 2-й Оренбургский кадетский корпус. История и судьбы / В. Г. Семёнов, В. П. Семёнова. – Оренбург: Оренбургское книжное издательство им. Г. П. Донковцева, 2021. – 576 с.

9 Семёнов, В. Г. Оренбургский Неплюевский кадетский корпус. История в лицах / В. Г. Семёнов, В. П. Семёнова. – Оренбург: Оренбургское книжное издательство им. Г. П. Донковцева, 2017. – 592 с.

10 Список гражданским чинам военного ведомства пятого класса по старшинству: исправлено по 1 февраля 1897 г. – СПб., 1893. – 122 с.

11 Страницы истории отечественного воздухоплавания / Ю. О. Дружинин, А. Ю. Емелин, М. И. Павлушенко, Д. А. Соболев. – М.: Русское авиационное общество (РУСАВИА), 2013. – 512 с.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО П6330 ПУТЕМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЕГО ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Серов Д.А., Клещарева Г.А, канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Гидравлические прессы занимают важное место в современном машиностроении и металлообработке, обеспечивая выполнение широкого спектра технологических операций, таких как штамповка, пробивка, калибровка, запрессовка и правка деталей. В условиях роста требований к точности, производительности и автоматизации производственных процессов особую актуальность приобретает задача обеспечения надёжности и безопасности эксплуатации прессового оборудования.

Прессы должны обладать повышенной точностью и производительностью изготовления деталей, технически и экономически оправданной жёсткостью и стойкостью используемого инструмента, надёжными технологическими узлами, иметь возможность быстрой и комфортной наладки и обслуживания [1].

Актуальность данной темы обусловлена широким применением гидравлического оборудования в промышленности и других отраслях производства. Спрос на гидравлические прессы достаточно большой, что способствует разработке новых технологий и модернизации этого оборудования для полноценного, качественного и комфортного применения в различных видах деятельности [2].

Целью данной работы является повышение безопасности эксплуатации пресса П6330 путём оценки надёжности его основных компонентов и разработки направлений их модернизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

− изучить назначение, технические характеристики и область применения гидравлического пресса модели П6330;

− проанализировать конструктивные схемы пресса, изучить состав, устройство и функциональное назначение его основных сборочных единиц и компонентов;

– проанализировать возможные направления модернизации для повышения безопасности и надёжности пресса;

Пресс П6330 относится к универсальным одностоечным гидравлическим прессам и предназначен для обработки металлов давлением в условиях единичного, серийного и мелкосерийного производства. Его конструкция включает сварную С-образную станину, рабочий гидравлический цилиндр, ползун с направляющими, гидроагрегат, систему управления и систему смазки. Такая

компоновка обеспечивает компактность оборудования и удобство обслуживания, однако одновременно предъявляет повышенные требования к прочности и жёсткости несущих элементов, поскольку вся нагрузка замыкается через станину.

Станина пресса является ключевым элементом конструкции, воспринимающим основные статические и динамические нагрузки. При работе в режимах с высоким усилием прессования в ней возникают значительные напряжения, особенно в зонах сварных соединений и в местах концентрации напряжений. Рабочий гидравлический цилиндр преобразует энергию рабочей жидкости в механическое усилие, передаваемое через шток на ползун. Надёжность цилиндра во многом определяется состоянием уплотнений, качеством обработки зеркала цилиндра и стабильностью давления в гидросистеме.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности эксплуатации является оценка надёжности пресса.

Надёжность – одна из основных частей качества любой технической системы. Проблема прогнозирования, нормирования и обеспечение надёжности возникает во всех отраслях современной техники: машиностроение, энергетике, строительстве, на транспорте и т. д. [3].

Надёжность является комплексным, сложным свойством, которое традиционно раскрывается через четыре основные более простые свойства: безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость [4].

Структура понятия «надёжность» представлена на рисунке 1.

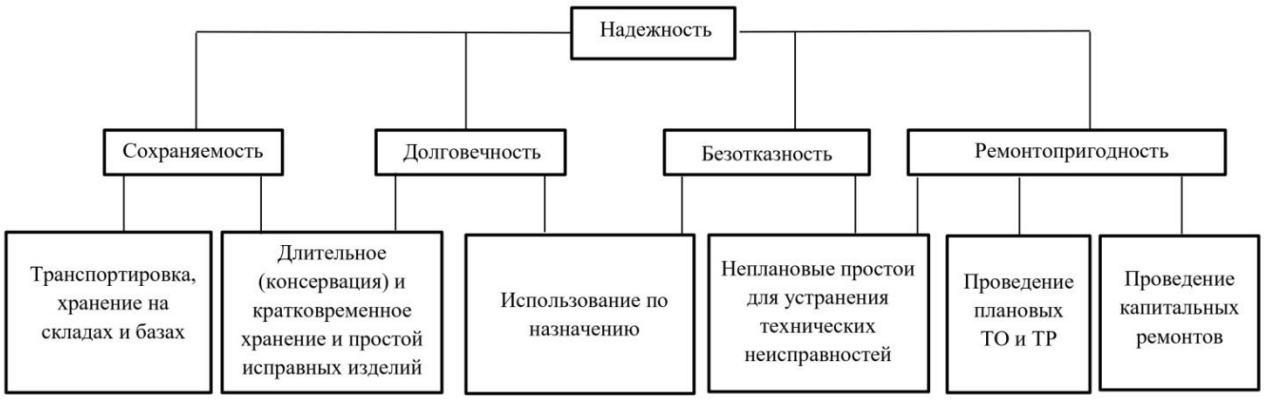


Рисунок 1 – Структура понятия «надёжность»

В практике оценки надёжности гидравлических прессов применяются расчётные, экспериментальные и диагностические методы. Расчётные методы включают прочностные расчёты основных элементов конструкции, таких как станина и рабочий цилиндр, с целью определения запасов прочности и выявления зон концентрации напряжений.

Применение методов инженерного анализа, в том числе метода конечных элементов, позволяет прогнозировать развитие усталостных повреждений и оценивать остаточный ресурс оборудования.

Экспериментальные и диагностические методы основаны на контроле фактического технического состояния пресса в процессе эксплуатации. К ним относятся визуально-измерительный контроль, ультразвуковая дефектоскопия, магнитопорошковый и капиллярный контроль, а также контроль рабочих параметров гидросистемы – давления, температуры масла и герметичности соединений.

Анализ состояния гидравлической жидкости имеет особое значение, поскольку загрязнение масла является одной из основных причин отказов насосов, клапанов и уплотнений.

В таблице 1 представлены инструментальные методы оценки технического состояния гидравлических прессов.

Таблица 1 – Методы оценки технического состояния гидравлического пресса

Метод	Объект контроля	Выявляемые проблемы	Значение для оценки надёжности
Ультразвуковая дефектоскопия	Колонны, рама, цилиндры	Внутренние трещины, расслоения металла	Оценка целостности и остаточного ресурса силовых элементов
Визуальный и измерительный контроль	Все поверхности, соединения	Поверхностные трещины, коррозия, деформации, износ	Оценка общего состояния, выявление очевидных дефектов
Тензометрирование	Колонны, рама	Неравномерность нагрузки, перекосы, недостаточная затяжка	Оценка корректности работы под нагрузкой, выявление скрытых напряжений
Контроль герметичности	Гидравлические магистрали, цилиндры, уплотнения	Утечки гидравлической жидкости	Оценка эффективности работы, предупреждение потери мощности
Анализ гидравлического масла	Рабочая жидкость	Загрязнение, старение, перегрев	Оценка состояния гидросистемы, прогнозирование износа насоса и клапанов

Для повышения безопасности эксплуатации пресса П6330 предлагается программа мониторинга технического состояния, основанная на регулярном контроле ключевых параметров и элементов оборудования. Программа мониторинга включает анализ эксплуатационно-технической документации, визуальный осмотр, проведение неразрушающего контроля и испытания под нагрузкой. Такой подход позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях и переходить от аварийных ремонтов к планово-предупредительной системе обслуживания [5].

Перечень и последовательность выполнения таких этапов приведены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Алгоритм технического диагностирования

Анализ факторов, влияющих на надёжность пресса П6330, показал, что решающую роль играют качество изготовления и монтажа, состояние гидравлической системы, условия эксплуатации и уровень организации технического обслуживания. Систематические перегрузки, высокая частота рабочих циклов и несоблюдение температурных режимов ускоряют накопление усталостных повреждений и снижают ресурс оборудования. Существенное влияние оказывает также квалификация обслуживающего персонала и соблюдение требований охраны труда.

В таблице 2 представлены причины низкой надёжности гидравлического пресса П6330.

Таблица 2 – Причины низкой надёжности гидравлического пресса П6330

Группа причин	Конкретная причина
1	2
Качество изготовления и материалы	Низкая точность обработки стола, ползуна, направляющих
	Недостаточная прочность или жесткость станины
	Низкое качество сварки
Условия эксплуатации	Систематические перегрузки
	Высокая частота рабочих циклов
	Несоблюдение температуры окружающей среды

Продолжение таблицы 2

1	2
Техническое обслуживание	Нерегулярная смазка трущихся узлов
	Ослабление крепежных элементов – болтов и гаек
	Отсутствие планового ТО и диагностики
Проектирование и конструкция	Минимальные запасы прочности в конструкции
	Отсутствие систем плавного пуска и управления
Управление и безопасность	Неисправное электрооборудование; перегрев, пыль, влага
	Ненадежная система защиты

Надёжность гидравлического пресса – это результат конструирования, безупречного изготовления, грамотной эксплуатации, своевременного обслуживания и корректного монтажа. Пренебрежение любым из этих факторов неизбежно сказывается на производительности и долговечности машины.

На основе проведённой оценки надёжности в работе обоснованы направления модернизации пресса П6330, направленные на повышение безопасности эксплуатации. К таким мероприятиям относятся усиление наиболее нагруженных элементов станины с одновременным снижением металлоёмкости за счёт рационального перераспределения материала, применение современных гидронасосов с регулируемой производительностью, а также внедрение систем мониторинга давления и температуры рабочей жидкости. Использование адаптивных систем управления позволяет снизить динамические нагрузки и повысить стабильность работы пресса.

Таким образом, повышение безопасности эксплуатации гидравлического пресса П6330 возможно только при комплексном подходе, включающем оценку надёжности основных компонентов, внедрение программ мониторинга технического состояния и реализацию мероприятий по модернизации конструкции и систем управления. Реализация предложенных решений позволяет повысить надёжность оборудования, продлить срок его службы и обеспечить соответствие современным требованиям промышленной безопасности.

Список литературы

1 Банкетов, А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский. − М.: Машиностроение, 1982. – 565 с.

2 Полех, Е. С. Модернизация конструкции гидравлического пресса / Е. С. Полех, М. С. Кухта // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции − Томск : Томский политехнический университет, 2022. − С. 282-283.

3 Волков, И. А. Оценка надежности и ресурса машиностроительных объектов – основное направление научной деятельности кафедры «Прикладная ме-

ханика и подъемно-транспортные машины» / И.А. Волков, А.Ф. Кирилов // Научные проблемы водного транспорта. − 2003. − №4. – С. 9-16.

4 ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. − Введ. 1991-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 24 с. – (Межгосударственные стандарты).

5 Поцебнева, И. В. Порядок проведения оценки качества продукции на каждой стадии производственного процесса: методические указания / И. В. Поцебнева. − Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. − 41 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Смольский Ю.А., Балабанов М.Д.,
Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В данной статье уделено внимание методам интеллектуального анализа данных, математическому моделированию деградационных процессов и алгоритмам машинного обучения для идентификации скрытых дефектов. Описана методология перехода от оценки текущего состояния к предиктивному анализу и расчету остаточного ресурса. Объект исследования – диагностика неисправностей исполнительных механизмов по результатам гидравлических испытаний. Предмет исследования – совокупность методов, алгоритмов и технологических решений, позволяющих выявлять и классифицировать неисправности исполнительных механизмов на основе данных гидравлических испытаний, автоматически обрабатывать и анализировать измерительные сигналы (давление, расход, температура, вибрация и др.), формировать диагностические заключения с заданной точностью и скоростью.

Гидравлические исполнительные механизмы (ГИМ) − гидроцилиндры, гидромоторы и поворотные приводы − являются критически важными компонентами в авиации, тяжелом машиностроении, нефтегазовом секторе и металлургии. Высокая интенсивность передаваемой мощности делает их незаменимыми, однако сложность внутренней конструкции и работа в условиях высокого давления создают риски внезапных отказов.

Традиционные методы испытаний, опирающиеся на визуальный осмотр и проверку пороговых значений (давление, расход), уже не отвечают требованиям Индустрии 4.0. Сегодня фокус смещается в сторону цифровизации диагностических процедур, где автоматизированная система не просто фиксирует результат «годен/не годен», а анализирует динамику процессов для выявления зарождающихся дефектов.

Автоматизированная диагностика начинается с формирования «цифрового следа» испытания. В отличие от ручного контроля, автоматизированный стенд регистрирует параметры с частотой дискретизации от 1 до 10 кГц, что позволяет зафиксировать переходные процессы, недоступные человеческому глазу. При автоматизированной диагностике выбираются ключевые параметры:

1) динамическое давление: пульсации давления в напорной и сливной линиях позволяют судить о работе распределительной аппаратуры и наличии кавитационных явлений;

2) объемный расход: изменение расхода при фиксированной нагрузке является прямым индикатором внутренних утечек;

3) температурный градиент: локальный перегрев узлов трения или дросселирующих отверстий свидетельствует об износе уплотнений или засорении каналов;

4) виброакустическая эмиссия: позволяет выявить микротрещины в корпусных деталях и износ подшипниковых узлов гидромоторов;

5) ток и напряжение соленоидов: позволяют диагностировать электромеханическую часть управляющих клапанов.

Современный подход подразумевает наличие математической модели идеального механизма. В ходе испытаний реальные данные сопоставляются с расчетными. Любое отклонение рассматривается как диагностический признак.

Первоначальные показатели с датчиков содержат шумы и случайные колебания. Для их интерпретации применяются методы цифровой обработки сигналов.

Для вращающихся механизмов (гидромоторов) наиболее эффективным является преобразование Фурье. Появление гармоник на специфических частотах однозначно указывает на повреждение определенных элементов (например, износ поршневых башмаков или распределительного блока).

Вейвлет-преобразование применяется для анализа нестационарных процессов – например, срабатывания гидроцилиндра под нагрузкой, позволяя локализовать дефект во времени.

Для работы алгоритмов машинного обучения из временных рядов извлекаются статистические характеристики:

– среднеквадратичное значение;

– коэффициент эксцесса – чувствителен к ударным нагрузкам;

– пик-фактор – индикатор степени износа поверхностей трения.

Автоматизация диагностики достигает максимума эффективности при использовании классификаторов. На основе обучающей выборки (истории испытаний исправных и неисправных узлов) система учится распознавать «подчерк» каждой поломки. Среди поломок можно выделить типовые дефекты и их цифровые признаки:

1) внутренние утечки: характеризуются изменением наклона кривой набора давления и снижением гидравлической жесткости системы. Алгоритмы регрессии позволяют с точностью до 5 % определить объем перетечек без разборки узла;

2) эффект скачкообразного движения: выявляется через анализ ускорения штока. Свидетельствует о деградации смазочных свойств рабочей жидкости или износе антифрикционного покрытия;

3) завоздушивание: проявляется в увеличении времени отклика и характерных низкочастотных колебаниях давления в начале цикла;

4) эрозия распределительных кромок: диагностируется по изменению профиля расхода в «мертвой зоне» хода золотника.

При диагностике применяют алгоритмы классификации:

– метод опорных векторов: хорошо работают при малом объеме данных о дефектах;

− Random Forest – позволяет ранжировать диагностические признаки по их важности;

− нейронные сети – могут анализировать графические образы спектрограмм испытаний.

Переход от диагностики к прогнозу – это наиболее сложная и востребованная задача. Анализ результатов периодических гидравлических испытаний позволяет выстроить траекторию деградации механизма.

Процесс износа редко бывает линейным. Для прогнозирования используются винеровские процессы. Они описывают постепенное накопление повреждений с учетом случайных факторов. Ещё существует модель экспоненциального износа. Она применяется для уплотнений, где после периода нормальной эксплуатации следует лавинообразный рост утечек.

Автоматизированная система формирует интегральный показатель – от 0 до 1 или от 0 до 100 %. Если после очередного испытания индекс состояния снизился с 0.9 до 0.7, система экстраполирует график до критического уровня (например, 0.3), определяя дату следующего ремонта.

Прогноз корректируется на основе данных о реальной нагрузке. Например, если гидроцилиндр эксплуатировался при повышенной температуре масла, весовые коэффициенты износа в алгоритме прогнозирования увеличиваются.

Автоматизация диагностики исполнительных механизмов на основе гидравлических испытаний превращает «пассивный» процесс контроля в активный инструмент управления надежностью. Использование анализа данных и предиктивных моделей позволяет не просто констатировать факт исправности, но и эффективно управлять жизненным циклом оборудования.

Будущее данного направления лежит в области «умных» исполнительных механизмов со встроенными датчиками (Smart Hydraulics), которые смогут проводить самодиагностику в процессе работы, передавая данные на стенд только для глубокого верификационного анализа.

Список литературы

1 Сырицын, Т. А. Эксплуатация и надёжность гидро- и пневмоприводов / Т. А. Сырицын. − М.: Машиностроение, 1990. − 248 с.

2 Богдан, Н. В. Техническая диагностика гидросистем / Н. В. Богдан, М. И. Жилевич, Л. Г. Красневский. − Минск: Белавтотракторостроение, 2000. − 120 с.

3 Чиликин, А. А. Сравнительный анализ современных методов диагностики состояния гидравлических систем / А. А. Чиликин, Н. Н. Трушин // Известия ТулГУ. Технические науки. − 2014. − № X. − С. Y–Z.

4 Алексеева, Т. В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта. − М.: Машиностроение, 1989. − 264 с.

5 Харазов А. М. Технологическая диагностика гидроприводов машин / А. М. Харазов. − М.: Машиностроение, 1979. − 112 с.

6 Коробейников, А. Г. Модели прогнозирования остаточного ресурса оборудования / А. Г. Коробейников, В. Г. Гусев. − СПб. : Политехника, 2020. − 184 с.

7 Шваб, К. Четвёртая промышленная революция. − М. : Эксмо, 2018. − 288 с.

ЛОГИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ АРХИВА

Столыпина М.А., Валиуллина Ж.Р.,
Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Логика работы системы автоматизации микроклимата помещения архива включает поддержание заданных параметров и принцип обратной связи. Эти элементы обеспечивают автоматическое регулирование показателей температуры, влажности и чистоты воздуха, необходимые для долгосрочного хранения документов. Это достигается с помощью специального оборудования и программного обеспечения, а также соблюдения нормативных требований.

Алгоритм функционирования автоматизированной системы регулирования микроклимата может быть условно разбит на следующие стадии:

1) контроль параметров микроклимата с помощью датчиков влажности и температуры. В качестве примера можно привести использование цифровых гигрометров, обеспечивающих точность измерений в пределах ±2 %, а также беспроводных сенсоров для удаленного мониторинга;

2) регулирование влажности. Для борьбы с повышенной влажностью используются осушители воздуха, для недостаточной – увлажнители воздуха;

3) поддержание стабильных условий в течение длительного времени. Автоматические системы климат-контроля облегчают управление параметрами и позволяют предотвратить резкие скачки режима температуры и влажности;

4) контроль температурно-влажностного режима.

Устранение отклонений от нормы. Например, при длительном стабильном повышении относительной влажности воздуха до 70 % – 90 % предпринимаются меры по нормализации климатических условий (интенсивное проветривание, осушение).

Заданные уставки – это нормативные параметры микроклимата для архивных помещений. Например, для документов на бумажной основе – температура от 17 °C до 19 °C и относительная влажность 50 % – 55 %. Для фотодокументов – 30 % – 40 %, для магнитных носителей – 40 % – 50 %, для оптических дисков – 45 % – 65 %.

Принцип поддержания уставок заключается в том, что система автоматически регулирует параметры, чтобы они соответствовали заданным значениям. Это обеспечивается с помощью:

– автоматических регуляторов. Они обеспечивают поддержание заданного значения регулируемого параметра (температуры, влажности и т. п.);

– интеллектуальных систем управления. Они интегрированы с датчиками влажности, температуры и качества воздуха, что позволяет автоматизировать процесс поддержания условий.

Важно: резкие колебания температуры и влажности в архивных помещениях не допускаются.

Принцип обратной связи в системе автоматизации микроклимата помещений архива заключается в том, что отклонение выходного значения от установленного эталона вызывает активацию элементов обратной связи для корректировки полученных данных.

Пример: если фактическая температура в зоне (например, в архиве) отличается от заданной уставки, контроллер сверяет показания с установленной температурой. Другими словами, если термометр фиксирует отклонение температуры в определённом помещении от заданного параметра, система управления сравнивает фактическое показание с требуемым уровнем. В случае выявления недостаточного прогрева помещения, главный узел отправляет сигнал на задействование соответствующего устройства, призванного повысить температуру, будь то привод, управляющий радиатором, или элемент системы обогрева пола. Необходимо поддерживать более или менее одинаковый режим хранения во всём объёме помещения архива – иногда в плохо вентилируемых хранилищах образуются зоны застойного воздуха, для которых характерна более высокая влажность воздуха.

Существует три основных режима работы системы автоматического поддержания микроклимата:

1) режимы «Зима/Лето». Для предупреждения резких колебаний температуры в разное время года система должна регулировать отопление в зависимости от температуры наружного воздуха. Летом окна, выходящие на солнечную сторону, закрывают теплонепроницаемыми щитами, белой бумагой или занавесками, а зимой заклеивают щели в окнах бумагой;

2) режим «День/Ночь». В архивохранилищах не допускается резкая смена параметров режима хранения, поэтому использовать оконные кондиционеры запрещено. В нерабочее время хранилища обычно обесточивают, из-за чего параметры микроклимата резко меняются;

3) аварийные ситуации. Система должна предусматривать действия персонала при выходе параметров за допустимые пределы, отказе основного оборудования, аварийном отключении электроэнергии, обнаружении протечек или повреждений.

Также система может включать интеллектуальное управление, которое позволяет адаптировать работу системы к внешним условиям, прогнозировать изменения микроклимата и оптимизировать энергопотребление по времени суток.

В настоящее время на рынке ПО представлены системы, которые позволяют контролировать микроклимат в помещении архива и отправлять уведомления о выходе таких параметров за пределы нормы с помощью SMS и e-mail. Среди них можно выделить следующие:

– UniPing server solution v3/SMS. Готовое решение для мониторинга серверной комнаты, в том числе климата (температуры, влажности, дыма и про-

течки). При выходе параметров за безопасный предел устройство отправляет уведомления дежурной смене через встроенный GSM-модем и e-mail;

– HWg-Ares 12. Устройство для мониторинга температуры с каналом связи GSM/GPRS. Позволяет отсылать уведомления в виде e-mail и передавать данные мониторинга на онлайн-портал через GPRS. Тревожные уведомления передаются как при превышении, так и понижении температуры ниже границы безопасного диапазона;

– Ambient Viewer. Программа для отображения граничных значений и информирования при выходе за предел с оповещением по радиоканалу. Если значение хотя бы одного из измеряемых параметров (температуры, влажности, давления) выходит за допустимые границы, графический индикатор окрашивается в красный цвет.

Для удалённого мониторинга и диспетчеризации системы автоматизации микроклимата помещений архива используются SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition — «диспетчерский контроль и сбор данных»). Они обеспечивают централизованное управление и мониторинг технологических процессов, включая контроль параметров микроклимата (температуры, влажности, давления и др.).

Принцип работы SCADA-системы: датчики и измерительные устройства на объекте непрерывно снимают показания параметров, эти данные поступают на удалённые терминалы, которые выполняют первичную обработку информации. Затем через каналы связи информация передаётся на диспетчерский пункт управления, где отображается в виде мнемосхем, графиков и таблиц.

Функции SCADA-системы:

– мониторинг параметров в реальном времени. Постоянное отслеживание показателей температуры, влажности, давления, состояния фильтров, скорости воздушного потока и других критически важных параметров;

– автоматизация процессов. Система самостоятельно включает или отключает оборудование, регулирует интенсивность работы вентиляции и кондиционеров в зависимости от текущих условий и заданных сценариев;

– оповещение об авариях и неисправностях. При отклонении от нормы или поломке система мгновенно информирует обслуживающий персонал посредством уведомлений, сигналов тревоги или сообщений по e-mail/SMS;

– архивирование данных. Система хранит исторические данные, что позволяет проводить анализ и оптимизацию процессов.

Для функционирования SCADA-системы используются:

– датчики измеряют параметры воздушной среды помещения;

– контроллеры получают данные от датчиков, анализируют их и выдают команды на включение, отключение или регулировку оборудования;

– каналы связи для передачи данных между удалёнными терминалами и центральным интерфейсом оператора используются различные каналы связи (Ethernet, радиоканалы, оптоволокно, GSM/LTE, промышленные протоколы).

Для реализации системы удалённого мониторинга и диспетчеризации для автоматизации микроклимата помещения архива используется программное обеспечение, например:

– MasterSCADA. Российская разработка, которая обеспечивает визуализацию данных, автоматизацию процессов, регистрацию событий и быструю реакцию на аварийные ситуации. В системе есть конструктор интерфейсов, который позволяет создавать мнемосхемы, 3D-визуализации и адаптивные панели;

– IntraSCADA. Российское кроссплатформенное решение для мониторинга и диспетчеризации, поддерживает веб-доступ с планшетов и смартфонов. В системе есть раздел визуализации с элементами: экраны, контейнеры (мнемосхемы, меню, строка состояния), диалоги, шаблоны визуализации;

– SkySCADA. Облачная платформа для контроля и управления технологическими процессами, включает серверную и клиентские части. Серверная часть получает текущие данные с удалённых устройств и выдаёт команды управления, взаимодействует с СУБД для формирования архива параметров и создания журнала аварийных событий.

При проектировании и эксплуатации системы удалённого мониторинга и диспетчеризации для автоматизации микроклимата помещения архива необходимо соблюдать нормативные требования к параметрам микроклимата, например, ГОСТ Р 7.0.8-2013 «Делопроизводство и архивное дело. Термины и определения» и СП 335.1325800.2017 «Здания и помещения для хранения и обработки документов Архивного фонда Российской Федерации».

Система оповещения о выходе параметров за пределы нормы позволяет оповещать о выходе параметров за пределы нормы с помощью SMS или электронной почты. Некоторые примеры таких систем:

– «Гигротермон-АРМ». Система собирает и контролирует микроклимат, отображает показания в табличном и графическом виде, позволяет задавать настройки аварийных и предупредительных диапазонов, отправлять информационные SMS и e-mail сообщения;

– Wireless Sensor Tags. Система позволяет настраивать получение уведомлений о выходе показателей за допустимые границы с помощью СМС, Push-уведомлений или электронной почты;

– «SENSOR». Система мониторинга, в которой оборудование собирает телеметрию и передаёт её через GSM на кластер серверов. В случае выхода параметров за пределы заданных норм, ответственный персонал получает уведомления об инциденте.

Список литературы

1 ГОСТ Р 7.0.2–2006. СИБИД. Консервация документов на бумажных носителях. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006.

2 ГОСТ Р 56895–2016. Специализированные складские здания и помещения. Микроклимат. Требования, методы мониторинга и контроля. – М.: Стандартинформ, 2016.

3 СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с изменениями на 2022 год). – М.: Минстрой России, 2022. (Раздел, касающийся архивохранилищ).

4 Правила организации хранения, комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации и других архивных документов в государственных и муниципальных архивах, музеях и библиотеках, научных организациях. – М.: Росархив, 2020.

5 Антомонов, М. С. Особенности применения прецизионных систем кондиционирования в архивах и библиотеках / М. С. Антомонов // Инженерные системы. – 2019. – № 2. – С. 14–18.

6 Бондарь, Е. С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов. – К.: Аванпост-Прим, 2011. – 560 с.

ГИБРИДНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Тавтилов И.Ш., канд. техн. наук, доцент, Сагдеев Н.Р.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Затраты на восстановление деталей триботехнических систем, подверженных абразивному износу, достигают 25 % от стоимости новой детали. Способ создания деталей с помощью гибридного пластического деформирования армированных композитов позволяют увеличить сопротивление износу, и в конечном итоге, повысить надежность и долговечность [1].

Гибридные армированные композиты – это многокомпонентные материалы, имеющие в своей структуре, сочетающихся между собой, два и более видов волокон [2]. Гибридные армированные композиты обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными композитами:

– сниженная склонность к хрупкому разрушению;

– повышенная ударопрочность (на 140 %);

– пониженная усталость и увеличенная долговечность при циклических нагрузках.

Гибридное пластическое деформирование армированных композитов на основе алюминия с применением наночастиц – это один из передовых методов повышения абразивной износостойкости материалов. Создание композитов с оптимизированной трибологией в экстремальных условиях, одна из ключевых задач материаловедения [3].

Алюминиевые сплавы, например, АД33, страдают такими недостатками как, слабая дисперсия и анизотропия. Эти недостатки ограничивают использование традиционных методов повышения их износостойкости и, поэтому, как правило, такой неупрочненный материал применяют в слабонагруженных узлах сопряжений.

Гибридное пластическое деформирование устраняет эти недостатки. Данный метод основан на механическом твердении Орована и создания зернистого слоя Холла-Петча.

Твердение Орована основано на создании препятствий движения дислокаций с помощью композитных наночастиц. Композитные частицы распределяются по всему объёму очага деформации и заполняют матрицу. При деформации наночастица большего объёма не может заполнить матрицу меньшего объема. Наночастица начинает огибать по дуге матрицу меньшего объема, что создаёт дополнительное напряжение, которое рассчитывается по формуле 1.

$$\tau = \frac{0{,}84Gb}{2\pi(1-\nu)^{0{,}5}\lambda}\ln\left(\frac{r}{b}\right), \quad (1)$$

где τ – напряжения Орована;

G – модуль сдвига матрицы (алюминия);

b – бургерсовский вектор;

ν – коэффициент Пуассона;

λ – межчастичный интервал.

При гибридном пластическом деформировании армированных композитов, согласно закону Холла-Петча, в структуре материала происходит микродублирование (измельчения зерна). Предел текучести растёт обратно пропорционально размеру зерна и рассчитывается при формуле 2.

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-0,5}, \tag{2}$$

где σ – полученный предел текучести;

σ_0 – начальный предел текучасти

k – константа Холла-Петча;

d – средний размер зерна.

Необходимо отметить, что после отжига, не происходит рост размеров зёрен, так как зёрна находятся в матрицах. Этот эффект даёт стабилизацию и равномерность наноструктуры, что в свою очередь позволяет получить к следующие результаты:

– понижение коэффициента трения (≈ на 20 %);

– сохранение высокой твёрдости при эксплуатации длительное время;

– снижение склонности образования трещин, царапин, сколов.

Минимальный размер зерен, упрочненного этим способом композиционного алюминиевого сплава, составляет 50 нм. Если уменьшить размер зёрен ещё сильнее, то пойдёт инверсия закона Хола-Петча – размягчения материала [3].

Композиты, внедряемые в материал, могут быть в виде оксида алюминия, либо карбида кремния. Внедрение происходит до формирования матрицы во время стадии приготовления шихты и ее смешивания по технологии порошковой металлургии. После перемешивания получают порошок равномерного гранулометрического и химического составов. Полученную шихту помещают в форму, имеющую конфигурацию детали, пластически деформируют, и после этого отжигают с последующим остыванием на воздухе [4].

Оксид алюминия и карбид кремния по строению мало отличаются между собой. Оксид алюминия добавляют для повышения теплопроводности, однако карбид кремния при температуре свыше 500 ^{o}C теряет механические свойства и разрушает основной материал.

Армированные композиты добавляют в:

– алюминиевые сплавы – для буровых установок;

– магниевые сплавы – для деталей, применяемых в авиации;

– титановые сплавы – для космической техники;

– медные сплавы – для теплопроводных элементов электротехники.

Приведенный метод повышения износостойкости, надёжности и долговечности материалов позволит снизить затраты на эксплуатацию и ремонт деталей, изготовленных из них, более чем на 20 %.

Список литературы

1 Курмаз, Л. В. Конструирование узлов и деталей машин: справочное учебно-методическое пособие / Л.В. Курмаз, О.Л. Курмаз. – Москва: Высшая школа, 2007. – 455 с. – ISBN 978-5-06-005725-6.

2 ГОСТ Р 57863-2017 Композиты полимерные. Армированные термопластичные листы. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 2018-01-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 37 с.

3 Богодухов, С. И. Материаловедение: учебник / С.И. Богодухов, Е.С. Козик. – Старый Оскол: ТНТ, 2021. – 536 с. – ISBN 978-5-94178-338-0.

4 Влияние состава и температуры отжига на структуру и свойства сплавов Cu–Ni, подвергнутых интенсивной пластической деформации / Судакова С.А., Попов В.В., Попова Е.Н., Столбовский А.В. // Физика металлов и металловедение. – 2025. – Т. 126, № 6. – С. 456-467.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

Производство бетона, являясь ключевым звеном строительной индустрии, сегодня эволюционирует в высокотехнологичный процесс, управление которым требует глубокой интеграции систем автоматизации.

Актуальность автоматизации бетонного производства определяется комплексом факторов: необходимостью гарантированного соответствия продукции жестким требованиям стандартов по прочности, морозостойкости и другим параметрам; потребностью в гибкой переналадке рецептур для выпуска широкой номенклатуры смесей; а также постоянным давлением на себестоимость в условиях роста цен на цемент, энергоносители и логистику. Автоматизация выступает основным инструментом для преодоления «человеческого фактора», минимизации брака, точного дозирования компонентов и, как следствие, достижения новой степени надежности и рентабельности производства [1].

Целью работы является системный анализ технологического процесса производства бетона как объекта автоматизации, включая изучение взаимосвязанных подпроцессов, с последующей разработкой и обоснованием эффективных подходов к автоматизации операций дозирования компонентов, управления циклом перемешивания и мониторинга параметров смеси.

Производство бетона – это процесс изготовления искусственного каменного строительного материала путем формования и затвердевания смеси цемента, заполнителя и воды с добавлением различных ингредиентов для улучшения свойств конечного продукта [2].

Процесс производства бетона представляет собой последовательность технологических операций, направленных на получение смеси с заданными реологическими и прочностными характеристиками, соответствующими установленным строительным нормативам. В зависимости от требований проекта (класс прочности, марка по подвижности, морозостойкость, водонепроницаемость) и свойств доступных компонентов необходим точный подбор рецептуры (состава) и режимов обработки для обеспечения требуемого качества бетона [3].

К основным технологическим операциям производства бетона относятся:

1) складирование и хранение сырья – прием, размещение и обеспечение сохранности качества цемента, заполнителей (песка, щебня) и химических добавок;

2) дозирование компонентов – точное отмеривание массы или объема цемента, воды, заполнителей и добавок в соответствии с утвержденной рецептурой. Это ключевая операция, определяющая качество и однородность смеси;

3) загрузка и перемешивание – транспортировка отмеренных компонентов в смеситель и их тщательное гомогенизация в течение строго определенного времени для получения однородной бетонной смеси;

4) контроль качества сырья и смеси – лабораторные и операционные испытания свойств исходных материалов (влажность, зерновой состав) и готовой смеси (подвижность, температура, плотность);

5) корректировка состава – оперативное внесение изменений в рецептуру (добавление воды, цемента или пластификаторов) для компенсации колебаний свойств сырья и поддержания константного качества смеси;

6) выгрузка и транспортировка – подача готовой бетонной смеси в бетоносмеситель транспортного средства (миксера) с обеспечением сохранения ее свойств в пути до объекта строительства.

На рисунке 1 приведена обобщенная схема производства бетона.

Рисунок 1 – Обобщенная схема производства бетона

Проанализируем каждую из операций, задействованных в процессе производства бетона, с точки зрения их автоматизации (рисунок 1).

Согласно результатам проведенного исследования [4-5], контроль характеристик поступающего сырья осуществляется посредством датчиков и систем мониторинга. Эти устройства позволяют измерять ключевые параметры, такие как влажность песка и щебня, температура материалов, активность цемента и плотность химических добавок.

На операции дозирования компонентов используются высокоточные весовые дозаторы и расходомеры, управляемые контроллером. В зависимости от заданной рецептуры и фактической влажности заполнителей система автоматически рассчитывает и корректирует массу каждого компонента (цемента, воды, песка, щебня, добавок) для строгого соблюдения водоцементного отношения. Для контроля уровня материалов в бункерах и силосах используются датчики уровня.

Для контроля эффективности перемешивания используются датчики мощности на валу двигателя смесителя и, в современных системах, датчики консистенции смеси. Анализ кривой мощности позволяет автоматически определять оптимальное время перемешивания для достижения гомогенности. В случае отклонения параметров система может корректировать время цикла или порядок загрузки материалов.

Регулирование процесса выгрузки и транспортировки включает автоматическую идентификацию транспортной единицы (миксера), управление затворами бункера и регистрацию времени и объема отгрузки. Система автоматически предотвращает перегрузку и документирует каждую партию.

Заключительный контроль качества производится с помощью операционных проб, а в перспективных системах – с использованием встроенных датчиков температуры смеси. В случае соответствия заданным параметрам партия допускается к отгрузке. При отклонении ключевых показателей (например, подвижности) система автоматически может заблокировать выгрузку, инициировать добавление корректирующей добавки или дополнительное перемешивание.

Для эффективной организации связи и координации работы между всеми датчиками, дозаторами и исполнительными механизмами применяется программируемый логический контроллер (ПЛК) или распределенная система управления. ПЛК работает в автономном режиме, управляя последовательностью операций и контролируя параметры технологического процесса [6].

На основе проведенного анализа технологического процесса производства бетона выявлены недостатки, которые препятствуют достижению максимальной эффективности, стабильности качества и рентабельности. Одной из ключевых проблем на многих предприятиях остается использование морально и физически устаревшего дозировочного и смесительного оборудования с низкой точностью, что приводит к перерасходу дорогостоящего цемента, некондиционному качеству смеси и повышенному браку. Многие технологические линии не оснащены единой интегрированной системой управления и SCADA, что повышает риск ошибок оператора, замедляет реакцию на отклонения и лишает возможности комплексного анализа данных для улучшения эффективности.

Для преодоления этих недостатков и кардинального улучшения процесса необходима модернизация на основе современных отечественных программно-технических комплексов. Внедрение точных цифровых дозаторов, управляемых современными ПЛК с возможностью удаленного мониторинга и настройки, позволит минимизировать погрешности. Развертывание автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора-технолога на базе SCADA-системы обеспечит наглядный мониторинг всех ключевых параметров в реальном времени, централизованное управление и архивирование данных по каждой партии. Перспективным направлением является внедрение элементов искусственного интеллекта и предиктивной аналитики. Такие системы позволяют на основе исторических данных и текущих параметров сырья прогнозировать конечные свойства бетона, автоматически оптимизировать рецептуры для снижения себестоимости [7].

Таким образом, процесс производства бетона представляет собой сложный, многостадийный и взаимосвязанный объект автоматизации, эффективное управление которым требует комплексного системного подхода. Внедрение современного отечественного программно-технического обеспечения, от первичных датчиков до систем верхнего уровня, позволит не только гарантировать

стабильно высокое качество продукции, строго соответствующее нормативам, но и достичь значительной экономии материалов, энергии и трудовых ресурсов, повысив конкурентоспособность предприятия.

Список литературы

1 Шилкина, С.В. Автоматизация процесса приготовления бетонной смеси как средство повышения эффективности производства бетона / С.В. Шилкина, А.Ю. Филатова // Вестник МГСУ. – 2011. – № 6. – С. 248-251.

2 Шестоперов, С.В. Технология бетона: учеб. пособие для вузов / С.В. Шестоперов. – Москва: Высшая школа. – 1977. – 432 с.

3 Тихонов, А.Ф. Автоматизированные бетоносмесительные установки и заводы: учебное пособие / А.Ф. Тихонов, К.М. Королев. – Москва: Высшая школа. – 1990. – 191 с.

4 Гордон, А.Э. Автоматизация контроля качества изделий из бетона и железобетона / А.Э. Гордон, Л.И. Никулин. – Москва: Стройиздат. – 1991. – 300 с.

5 Кайтуков, Б.А. Автоматизация и механизация производства высокопрочных бетонов / Б.А. Кайтуков, Д.О. Горяйнова // Системные технологии. – 2023. – № 4(49). – С. 134-139.

6 Остроух, А.В. Система управления технологической линией приготовления товарного бетона // Инновационные подходы в решении проблем современного общества: монография. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 234-255.

7 Саечников, И.И. Робототизированные комплексы в монолитном строении / И.И. Саечников // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 2. – С. 237-239.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН:PLM» В ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ОТ ИЗУЧЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ПРОЕКТНОГО ПОРТФОЛИО

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

Современный этап развития промышленности, связанный с цифровой трансформацией и внедрением концепций «Индустрия 4.0», предъявляет новые требования к подготовке инженерных кадров. Как отмечают исследователи, сегодня от выпускника требуется не только владение отдельными инструментами, но и «понимание принципов коллективной работы в единой информационной среде, а также опыт участия в полном цикле разработки изделия» [1]. В этой связи актуальной задачей для высшей школы становится интеграция систем управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM) в образовательные программы. Такой подход знаменует собой эволюцию обучения автоматизированному проектированию – от освоения разрозненных CAD/CAM/CAE-систем к формированию компетенций работы в единой цифровой среде, управляющей всеми данными и процессами. В российских условиях особый практический интерес представляет опыт применения отечественной PLM-системы «ЛОЦМАН:PLM», разработанной компанией «АСКОН». Данная система обеспечивает централизованное хранение, управление версиями и согласование всей инженерной документации, что делает её перспективной основой для модернизации учебного процесса.

Для реализации задач проектного обучения система «ЛОЦМАН:PLM» предоставляет комплекс технологических возможностей, которые могут быть адаптированы для учебного процесса. Согласно техническому описанию и опыту внедрения в вузах, система обеспечивает:

– централизованное хранение и управление данными. Система аккумулирует всю информацию, необходимую для конструкторско-технологической подготовки, обеспечивая «накопление данных о результатах конструкторско-технологического проектирования и обмен информацией между инженерными службами» в единой защищённой базе данных [1]. В образовательном контексте это решает ключевую проблему потери и неупорядоченности студенческих проектных файлов, приучая будущих инженеров к культуре системной организации информации [4];

– управление структурой и конфигурацией изделия. «ЛОЦМАН:PLM» позволяет управлять информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и входимости компонентов. Это даёт студентам возможность работать не с отдельными чертежами, а с целостной электронной моделью изделия, выстраивая и анализируя взаимосвязи между сборочными единицами и деталями [2];

– контроль версий и жизненным циклом документов. Система реализует управление изменениями производственной документации, фиксируя историю всех модификаций [1]. Для учебного процесса это означает возможность отслеживания этапов работы над проектом, верификации промежуточных результатов преподавателем и предотвращения конфликтов при коллективной работе;

– организацию регламентированного электронного документооборота (EDM). В системе могут быть настроены маршруты согласования и утверждения документов с гибким разграничением прав доступа для различных ролей (студент, преподаватель, нормоконтролёр, заведующий кафедрой) [4]. Это позволяет моделировать в учебных условиях реальные процессы согласования технической документации на предприятии;

– интеграцию с CAD-системами. Будучи центральным компонентом комплекса решений АСКОН, система обладает глубокой интеграцией с CAD-системой «КОМПАС-3D», а также поддерживает взаимодействие с другими распространёнными САПР [2]. Это обеспечивает преемственность, позволяя студентам применять навыки 3D-моделирования непосредственно в среде управления жизненным циклом.

Изначальное внедрение «ЛОЦМАН:PLM» в вузах было связано с её включением в учебные планы конкретных дисциплин. Как указывается в научных работах, владение технологиями PLM стало обязательным компонентом подготовки современного инженера, поскольку «изучение современных систем управления жизненным циклом продукции... является неотъемлемым элементом при подготовке... специалиста для современного производственного процесса» [1]. В рамках таких дисциплин, как «Интегрированные системы проектирования и управления», студенты осваивают базовые операции работы с системой: размещение документов, создание структуры изделий, управление атрибутами [3]. Этот этап закладывает фундаментальные представления о PLM, расширяя рамки традиционного обучения автоматизированному проектированию, однако часто носит изолированный характер, не демонстрируя место системы в сквозных инженерных процессах предприятия.

Более глубокий подход предполагает использование «ЛОЦМАН:PLM» не как конечной цели изучения, а как технологической платформы для организации учебной проектной деятельности. Анализ публикаций показывает, что система эффективно применяется для реализации сквозных проектов, объединяющих студентов разных курсов. Так, описывается модель, в которой «система «ЛОЦМАН:PLM» выступает связующим звеном между кафедрами и студентами разных курсов, объединенных выполнением одного курсового проекта» [2]. Ключевой инновацией является введение роли координатора из числа старшекурсников, который «распределяет выполнение отдельных частей проекта между студентами младших курсов по мере сложности заданий» и собирает результаты в единой среде [2]. Такой формат трансформирует учебный процесс из последовательности разрозненных заданий в целостный, логически связанный процесс, способствующий формированию не только технических, но и управленческих компетенций.

Совокупность перечисленных возможностей позволяет реализовать в учебном процессе модель последовательного накопления знаний и навыков. Эта модель, наглядно представленная в таблице 1, иллюстрирует, как дисциплины разных курсов вносят вклад в единое цифровое проектное пространство студента.

Таблица 1 – Интеграция проектной деятельности в учебном процессе с использованием «ЛОЦМАН:PLM»

Этап обучения	Дисциплины (пример)	Результаты в PLM-среде	Вклад в итоговое портфолио
1-2 курс	Инженерная графика, Сопротивление материалов	2D-чертежи, 3D-модели деталей, отчеты по расчетам	Библиотека верифицированных компонентов
3 курс	Детали машин и основы конструирования	3D-сборки, спецификации	Базовые узлы будущего изделия
4 курс	Технология машиностроения, САПР ТП	Технологические процессы, управляющие программы для ЧПУ	Готовый технологический раздел проекта
4-5 курс	Дипломное проектирование	Комплексный цифровой макет изделия со всей документацией	Выпускная квалификационная работа

Принцип сквозного проектирования, представленный в таблице 1, демонстрирует поэтапное формирование цифрового портфолио. Этот подход закономерно ведет к его ключевой идее – созданию единого цифрового проектного портфолио студента. Работы, выполняемые с первого курса, не теряются, а последовательно накапливаются в системе, проходя верификацию. К началу дипломного проектирования студент имеет не набор разрозненных файлов, а структурированную базу собственных наработок. Дипломный проект становится этапом интеграции и развития ранее созданных компонентов, что максимально приближает учебный процесс к реальной инженерной практике, где проекты развиваются итеративно.

Особую значимость приобретает использование PLM-системы для решения задач организации учебного процесса. Исследователи констатируют проблему, что «в процессе использования CAD/CAM/CAE-систем студенты получают множество электронных документов, которые, как правило, не упорядочены. Также нередки случаи потери документов и их заимствования» [4]. В качестве решения предлагается применение «ЛОЦМАН:PLM» для наведения порядка в учебном электронном документообороте. Перспективным направлением развития, по мнению специалистов, является создание на базе системы спе-

циализированного инструментария для управления курсовым и дипломным проектированием. Исследователи из МГТУ им. Н.Э. Баумана указывают, что такая система позволила бы координировать процессы «выдачи заданий, консультаций преподавателей, защиты работ, а также организации архива, проверки документов на наличие заимствований» [4]. Таким образом, PLM-платформа может трансформироваться в элемент цифровой экосистемы университета, регламентирующей ключевые процедуры проектной деятельности.

Практический опыт ведущих технических университетов демонстрирует, что отечественная система «ЛОЦМАН:PLM» является эффективным инструментом для интеграции принципов цифрового производства в инженерное образование. Её применение эволюционирует от этапа знакомства с функционалом к построению сквозной образовательной траектории, центром которой становится цифровое портфолио студента. Накопление и структурирование результатов проектной работы за весь период обучения в единой среде не только систематизирует учебный процесс, но и формирует у будущих инженеров компетенции, критически важные для работы в условиях современного цифрового производства. Дальнейшее развитие связано с реализацией концепции использования PLM как платформы для управления всей проектной деятельностью в вузе. Такой подход обеспечивает логичное завершение обучения автоматизированному проектированию и открывает новые возможности для повышения практической ориентированности подготовки конкурентоспособных инженерных кадров.

Список литературы

1 Помазкин, И.А. Программный комплекс Лоцман:PLM как инновации в образовании / И.А. Помазкин, В.В. Бродт, А.С. Фурман // Россия молодая: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. – Кемерово, 2019. – С. 30247.1 – 30247.3.

2 Голубева, И.Л. Использование системы «Лоцман:PLM» для организации непрерывного обучения студентов направления 151000.62 – Технологические машины и оборудование / И.Л. Голубева, А.Р. Альтапов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 17. – С. 348-349.

3 Фурман, А.А. Использование программной среды Лоцман:PLM при подготовке бакалавров направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / А.А. Фурман, И.А. Помазкин, И.В. Чечерин // Синергия науки и творчества: сборник материалов Международного конкурса курсовых, научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ. – Кемерово, 2019. – С. 100-102.

4 Щеглов, Г.А. Внедрение системы «ЛОЦМАН:PLM» в учебный процесс технического университета / Г.А. Щеглов, Н.Г. Суркова, Т.С. Биюшкина // Развитие’24: Российский PLM-комплекс для подготовки кадров: тезисы докладов Всероссийского форума (с международным участием). – Москва, 2024. –

С. 216-218.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ

Трофимов А.Г., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Автоматизация котельных, обслуживающих несколько зданий, является ключевым условием повышения энергоэффективности, устойчивости и надёжности систем теплоснабжения. Несмотря на широкое внедрение средств автоматизированного управления в теплотехнических установках, значительная часть существующих котельных действует по устаревшим принципам – с ручным или полуавтоматическим регулированием, ограниченным мониторингом и отсутствием интеллектуального управления тепловой нагрузкой. Это приводит к перерасходу топлива, отклонениям температурного режима и снижению общего ресурса оборудования.

Автоматические системы управления разрабатываются как децентрализованная система человек-машина, включающая в себя информационно-вычислительные и программные средства. Они обеспечивают автоматическое и автоматизированное управление, сигнализацию, регистрацию технических параметров и выполнение управляющих действий. Эти системы также предусматривают работу с минимальным количеством обслуживающего персонала.

Целью работы является повышение эффективности использования энергетических ресурсов в системах централизованного теплоснабжения. Повышение эффективности управления процессом отопления достигается за счет разработки систем, алгоритмов управления, обеспечивающих энергосбережение.

Научная новизна заключается в формировании алгоритма работы интегрированной системы управления котельной, объединяющей уровни измерения, обработки данных, оптимизации режимов и диспетчеризации.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенная структура может быть применена в учебных лабораториях, котельных, административных и промышленных комплексах, а также при модернизации теплоснабжающих систем для снижения расходов на эксплуатацию и обслуживание автоматизированных систем. Возможность удаленного доступа, контроля и регулирование параметров.

Котельные, обслуживающие территориально распределённые комплексы зданий, играют важную роль в обеспечении стабильного микроклимата и бесперебойной работы инфраструктуры. При этом анализ современного состояния теплоснабжения показывает, что многие котельные функционируют с недостаточным уровнем автоматизации: ручное управление горелочными устройствами, отсутствие погодозависимого регулирования, минимальное количество датчиков и слабая интеграция с системами диспетчеризации.

Последние научные публикации акцентируют внимание на следующих направлениях:

– исследования системы распределённого управления теплоснабжением зданий на основе сенсорных сетей (Басалаев и др.) показывают важность автоматизированного сбора данных и адаптивного регулирования [1];

– работы по модернизации систем теплоснабжения в промышленности (Шнайдер) подчеркивают эффект энергосбережения от автоматизации [2];

– исследования архитектур интеллектуального управления тепловыми процессами акцентируют необходимость многоконтурного регулирования и комплексного мониторинга [3];

– современные публикации по SCADA-системам демонстрируют возможности цифровизации теплоснабжения и удалённого контроля параметров [4];

– исследования по автоматизации отопления зданий (Чихутов и др.) показывают эффективность использования датчиков, регуляторов и прогнозного управления при изменяющихся тепловых нагрузках [5].

Несмотря на значительный объём исследовательских работ, проблема интеграции автоматизации именно на уровне локальной котельной, обслуживающей комплекс зданий, остаётся недостаточно изученной. Существующие решения ориентированы либо на одиночные котлы, либо на крупные тепловые пункты, в то время как распределённые системы зданий требуют комбинированных схем управления.

Научная проблема исследования заключается в отсутствии универсального, гибкого и легко масштабируемого подхода к автоматизации котельной, обеспечивающего энергоэффективное управление несколькими контурами теплопотребления зданий комплекса.

Анализ литературы позволил выделить три основных направления исследований:

– интеллектуальное управление теплоснабжением и отоплением зданий. Басалаев и др. [1] рассматривают распределённое регулирование отопления зданий с использованием сенсорных сетей. Авторы демонстрируют, что внедрение интеллектуальных алгоритмов снижает колебания температуры и снижает энергозатраты до 12 % – 18 %. Однако работа не рассматривает тепловые источники (котельные), что оставляет пробел в области управления на уровне генерации тепла;

– автоматизация промышленных тепловых систем. Шнайдер [2] исследует автоматизацию систем теплоснабжения промышленных площадок, отмечая значительные потери энергии при отсутствии адаптивного контроля. Эти выводы важны и для локальных котельных, но промышленные объекты имеют отличную структуру нагрузки, что ограничивает прямую применимость;

– автоматизация отопления зданий и применение SCADA. Работы Чихутова [5] и исследования по SCADA [4] подчеркивают важность комплексного подхода: объединение датчиков, исполнительных механизмов и визуализации параметров в реальном времени. Эти подходы позволяют реализовать удалённую диспетчеризацию и оптимизацию режимов.

Система автоматизации котельной обеспечивает высокий уровень безопасности за счет многоуровневой защиты, включающей аппаратные, программные и организационные меры. Соответствие строгим нормативным требованиям гарантирует надежную работу оборудования в различных условиях эксплуатации. Только комплексный подход, сочетающий современные технические решения и грамотную организацию процессов, может гарантировать долговременную и безопасную работу автоматизированной котельной.

Несмотря на наличие работ по автоматизации отопления, отсутствуют комплексные исследования, объединяющие автоматизацию котельной и многозонное управление тепловой нагрузкой комплекса зданий.

Список литературы

1 Басалаев, А.А. Распределённое управление теплоснабжением зданий на основе сенсорных сетей : автореф. дис. … канд. тех. наук : 05.13.06 / А.А. Басалаев. – Челябинск, 2018. – 23 с.

2 Шнайдер, Д.А. Автоматизация управления системами теплоснабжения промышленных объектов при низкотемпературных режимах : дис. … канд. тех. наук : 05.13.06 / Д.А. Шнайдер. – Челябинск, 2003. – 159 с.

3 Туркин, В.П. Автоматизация тепловых процессов : дис. … док. тех. наук : 05.23.03 / В.П. Туркин. – Челябинск, 1983. – 172 с.

4 MasterSCADA: техническая документация [Электронный ресурс].: – 2018. – Режим доступа : https://owen.ru/product/masterscada_4d/video.

5 Чихутов, Д.А. Автоматизация управления системами отопления зданий : дис. … канд. тех. наук : 05.13.06 / Д.А. Чихутов. – 2006. – 223 с.

6 Бродач, М.М. Тепловой режим зданий / М.М. Бродач, Ю.А. Табунщиков. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2023. – 200 с. – ISBN: 5-94533-007-8.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНООБРАБОТКИ ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ IIoT-РЕШЕНИЙ В КОНТУР АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Трохов А.А., Пищухин А.М., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современный этап развития машиностроительного производства, часто характеризуемый термином «Индустрия 4.0», диктует жесткие требования к гибкости и автономности технологического оборудования. Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) являются ядром производственных мощностей, однако их классическая архитектура обладает существенным недостатком – статичностью управляющих программ. Традиционный G-код, генерируемый в CAM-системах, рассчитывается, исходя из идеализированных условий обработки, которые редко соответствуют действительности [1].

На практике технолог сталкивается с вариативностью припуска заготовки, неоднородностью физико-механических свойств материала и, что наиболее критично, нелинейным износом режущего инструмента. Работа по жесткой программе в таких условиях приводит либо к снижению производительности (из-за закладывания избыточных запасов надежности в режимы резания), либо к браку и аварийным остановкам оборудования.

Решением данной проблемы является переход от жесткого управления к адаптивному, где система способна реагировать на возмущения в режиме реального времени. Целью данной работы является разработка подхода к интеллектуальному управлению процессом резания, базирующегося на сборе и анализе больших данных (Big Data) посредством технологий промышленного интернета вещей (IIoT).

Основная сложность внедрения адаптивных алгоритмов заключается в закрытости архитектуры большинства промышленных стоек ЧПУ (Fanuc, Siemens, Heidenhain). Производители предоставляют ограниченный доступ к ядру системы, что затрудняет реализацию внешних корректирующих воздействий с высокой частотой дискретизации.

Традиционные методы мониторинга часто сводятся к постфактум-анализу или простейшим пороговым ограничениям (например, остановка шпинделя при превышении нагрузки на 120 %). Однако для реализации полноценного интеллектуального управления необходимо анализировать косвенные признаки процесса резания: виброакустическую эмиссию, температуру в зоне резания и мгновенную мощность приводов подач [2].

Использование технологий IIoT позволяет создать «надстройку» над классической системой ЧПУ. В такой архитектуре формируется так называемый «цифровой двойник» процесса, который получает данные не только от внутренних энкодеров станка, но и от внешней сенсорики. Ключевым вызовом

здесь становится латентность (задержка) передачи данных. Облачные вычисления, популярные в бизнес-аналитике, неприменимы для прямого управления станком из-за задержек сети. Поэтому в предлагаемом решении акцент смещается на граничные вычисления (Edge Computing) – обработку данных непосредственно на контроллере, подключенном к станку [3].

Разработанная структурная схема интеллектуальной системы включает три иерархических уровня:

1. Физический уровень (Sensing Layer): включает в себя сам станок с ЧПУ и навесную сенсорику. Для экспериментов использовались трехкомпонентные акселерометры для регистрации вибраций и датчики токовой нагрузки на фазах двигателя шпинделя. Частота опроса датчиков составляет не менее 5 кГц для корректного захвата высокочастотных гармоник, свидетельствующих о микросколах инструмента.

2. Граничный уровень (Edge Layer): представляет собой промышленный микрокомпьютер (например, на базе архитектуры ARM или x86), соединенный со станком по протоколам OPC UA или MTConnect. На этом уровне происходит первичная фильтрация сигнала (отсечение шумов), быстрое преобразование Фурье (FFT) для спектрального анализа вибраций и, самое важное, выработка управляющего сигнала [4].

3. Облачный/Серверный уровень (Cloud Layer): служит для накопления исторических данных, дообучения нейросетевых моделей и глобальной аналитики эффективности производства. Он не участвует в мгновенном управлении, но обновляет весовые коэффициенты алгоритмов на граничном уровне.

Принципиальным моментом является организация обратной связи. Система не просто «наблюдает», но и вмешивается в процесс. Это реализуется через функцию переопределение скорости подачи, доступную в большинстве современных контроллеров через программный API.

В основе «интеллекта» системы лежит гибридная модель, сочетающая нечеткую логику и элементы машинного обучения [5,6]. Выбор нечеткой логики обусловлен тем, что операторы-технологи часто мыслят лингвистическими переменными: «если вибрация сильная, то подачу нужно немного снизить».

Входными векторами для модели являются:

– текущая нагрузка на шпиндель (I);

– среднеквадратичное значение виброскорости (RMS);

– текущая скорость подачи (F).

Алгоритм функционирует следующим образом.

1. Сбор данных: поток данных с сенсоров синхронизируется с текущей строкой G-кода. Это необходимо, чтобы система понимала контекст (черновая обработка, чистовой проход или холостой ход).

2. Детекция аномалий: с помощью метода опорных векторов (SVM) система классифицирует текущее состояние процесса. Если фиксируется выход параметров за пределы «нормального облака», инициируется протокол коррекции.

3. Выработка управляющего воздействия: нечеткий контроллер рассчитывает коэффициент коррекции подачи (K). Например, при обнаружении резонансных колебаний система может снизить подачу на 15 % или, наоборот, изменить обороты шпинделя для выхода из зоны резонанса [7].

Важно отметить, что использование IIoT позволяет реализовать стратегию предиктивное обслуживание. Анализ трендов роста вибраций позволяет предсказать остаточный ресурс инструмента и остановить станок для замены пластины до того, как произойдет её разрушение и повреждение детали.

Ввиду высокой сложности прямой инсталляции IIoT-модулей в закрытые промышленные системы, оценка эффективности предлагаемого алгоритма в рамках данной работы базируется на сопоставительном анализе теоретических выкладок с результатами эмпирических исследований ведущих научных школ (в частности, работ лабораторий интеллектуальных систем обработки материалов) [8].

Анализ существующих внедрений систем адаптивного управления, описанных в литературе, позволяет экстраполировать потенциальные результаты применения разработанной архитектуры на типовые технологические операции. На основе данных, полученных в исследованиях [9], можно выделить следующие аспекты практической значимости:

1. Динамическая компенсация погрешностей: исследования показывают, что использование высокочастотного мониторинга вибраций позволяет снизить шероховатость поверхности (Ra) на 15 % – 20 % без изменения базовых параметров УП. Это достигается за счет подавления автоколебаний в режиме реального времени, что коррелирует с предложенным в данной работе методом нечеткого регулирования подачи.

2.Прогнозная оценка ресурса инструмента: согласно статистическим данным по эксплуатации систем предиктивной аналитики на базе IIoT, точность определения момента критического износа режущей кромки достигает 92 % – 95 %. В контексте предлагаемой системы, использование граничных вычислений позволяет минимизировать риск «ложных срабатываний», характерных для простых пороговых датчиков, за счет многофакторного анализа спектральных плотностей.

3. Экономическая целесообразность: теоретический расчет окупаемости внедрения предложенного программно-аппаратного комплекса указывает на возможность сокращения операционных расходов на 10 % – 12 % в год. Основная экономия достигается не только за счет снижения брака, но и за счет перехода от планово-предупредительного ремонта к обслуживанию по фактическому техническому состоянию (Condition-based Maintenance).

Верификация предложенного алгоритма проводилась методом имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink, где в качестве входных параметров использовались массивы данных, находящиеся в открытом доступе и содержащие записи сигналов датчиков тока и вибрации при обработке титановых сплавов [10]. Результаты симуляции подтвердили устойчивость нечеткого

контроллера к зашумленным сигналам, что является ключевым преимуществом при работе в условиях реального цеха.

Таким образом, отсутствие прямого натурного эксперимента на данном этапе компенсируется высокой степенью корреляции теоретической модели с верифицированными данными отраслевых исследований, что подтверждает жизнеспособность выбранного направления разработки.

Интеграция технологий промышленного интернета вещей в контур управления станками с ЧПУ трансформирует их из исполнительных механизмов в полноценные киберфизические системы. Предложенный подход к адаптивному управлению на основе граничных вычислений демонстрирует высокую эффективность в задачах повышения производительности и надежности техпроцессов. Дальнейшее развитие темы видится в стандартизации протоколов обмена данными между периферийными устройствами IIoT и ядрами ЧПУ различных производителей.

Список литературы

1 Григорьев, С.Н. Концепция построения цифровых систем числового программного управления / С.Н. Григорьев, Г.М. Мартинов // Информационные технологии в проектировании и производстве». – 2018. – № 1 (44). – С. 21-27.

2 Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18-23.

3 Сосонкин, В.Л. Системы числового программного управления : учебное пособие / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – Москва : Машиностроение, 2005. – 320 с.

4 Xu X. From cloud computing to cloud manufacturing // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2012. – Vol. 28, Issue 1. – P. 75-86.

5 Pishchukhin, A. The Control Simulation of the Enterprise on the Basis Metasystem Approach / A. Pishchukhin, T. Pishchukhina // Universal Journal of Control and Automation, 2013. № 1 (4). P. 98-102

6 Pishchukhin, A. M. Metasystem approach to increase the load factor FMS / A. M. Pishchukhin // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) : proceedings of the conference, 2017. Vol. 129. P. 1-4

7 Selvarani S., Ganeshan M. K., Vethirajan C., Kumar A., Arumugam U. Artificial Intelligence and Machine Learning in Smart Manufacturing in Industry 4.0 [Электронный ресурс] // International Journal of Research Publication and Reviews. 2023. Vol. 4, No. 11. P. 2053-2058

8 Altintas Y., Postel M. Prediction of thermo-mechanical errors in machining centers // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2018. – Vol. 140, Issue 5. – P. 054501.

9 Акулич, И.В. Мониторинг и прогнозирование состояния режущего инструмента в системах ЧПУ с использованием нейросетевых технологий / И.В.

Акулич // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 4. – С. 24-35.

10 NASA Ames Prognostics Data Repository. Milling Dataset. [Электронный ресурс]. URL: https://ti.arc.nasa.gov/tech/dash/groups/pcoe/prognostic-data-repository/ (дата обращения: 20.01.2026).

ПРОЦЕСС НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОГО КАУСТИКА НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

Нефтепереработка – это сложный процесс, который превращает сырую нефть в ценные продукты. Однако нефтеперерабатывающие предприятия оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду [1, 2], что накладывает на них особые обязательства по укреплению экологической безопасности и обеспечению высокой надежности очистных комплексов. В соответствии с действующими законодательными и нормативными документами, например, [3, 4], предприятия обязаны обеспечивать автоматическое измерение и учет показателей выбросов и (или) сбросов, фиксировать и передавать в государственный реестр информацию о показателях, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Одним из опасных отходов, требующим строгого соблюдения техники безопасности при обращении, является отработанный каустик после применения в нефтепереработке. Технически он представляет собой загрязненную жидкость, которая из-за высокой коррозионной активности требует специальной утилизации или нейтрализации, которые могут выполнены различными способами, в том числе, и термически. Информация об уровне технического и технологического развития сферы утилизации и обезвреживания отходов термическими способами, применяемых наилучших доступных технологиях и различных аспектах их применения содержится в [5].

На объектах первой категории, к которым относятся нефтеперерабатывающие предприятия, требуется применение комплексной автоматизации – от независимых защит, переводящих установку в безопасное состояние при любом отклонении, через встроенные меры защиты персонала, и далее до экологического мониторинга с подтверждением соответствия нормативам. Это позволит укрепить промышленную и функциональную безопасность, повысить энергоэффективность и обеспечить высокую надёжность очистных комплексов.

Для комплексного решения проблемы автоматизации нейтрализации отработанного каустика и экологического мониторинга необходимо провести анализ этого технологического процесса, что определяет актуальность темы исследования.

На рассматриваемом нефтеперерабатывающем предприятии первой категории используется установка нейтрализации каустической кислоты, которая эксплуатировалась в течение многих лет, систематически выходила за пределы проектных режимов. Поддержание стабильных условий требовало частого ручного вмешательства, что приводило к работе операторов в опасных условиях,

нестабильному химическому составу процесса и значительной неопределенности при проведении плановых регулировок. На объекте уже функционирует автоматизированная система химической нейтрализации, обеспечивающая базовое дозирование реагентов и мониторинг параметров, однако накопленный опыт эксплуатации выявил устойчивые ограничения: чувствительность к вариабельности состава стока, риски передозирования и локального подкисления (с выделением H_2S), склонность к пено- и солеобразованию и необходимость частых ручных корректировок.

В настоящее время осуществляется внедрение более современной установки термического окисления. В отличие от старой системы, термический окислитель производит относительно безвредные побочные продукты в стабильной, контролируемой среде, что позволяет безопасно проводить процесс обработки в предсказуемых рабочих условиях и существенно снижает риск для персонала.

Рассмотрим этапы технологического процесса нейтрализации отработанного каустика на новой установке.

Отработанный каустик впрыскивается мелкодисперсным потоком в секцию термического окислителя через распылительные пистолеты. При температуре ~ 982 ° С, которая поддерживается за счет горения топливного газа, каустик будет преобразован в соли карбоната натрия и бикарбоната натрия.

Преобразованный каустик в виде горячих газов (смесь дымовых газов, диоксида серы, углеводородов и карбонатов) выходят из секции термического окисления вниз в секцию закалки, состоящую из контактора распыления и сосуда охлаждения. Охлажденная жидкость подается в контактор распыления с сосуда охлаждения. Каждый из установленных распылителей в контакторе будет впрыскивать мелкодисперсный поток жидкости в нисходящий дымовой газ. Часть жидкости будет течь вниз по контактору распыления по облицованному кирпичу, тем самым насыщая кирпич водой и охлаждая среду, часть жидкости, соприкасаясь с горячими газами, будет испаряться, заставляя газы охлаждаться и достигать температуры адиабатического насыщения. Охлажденные газы через переходную трубу выходят в сосуд охлаждения и далее проходят двухступенчатую газоочистку: скруббер Вентури для улавливания пыли/аэрозолей и дополнительного охлаждения; каустический скруббер для абсорбции кислотных компонентов. В сосуд охлаждения подается вода для дальнейшей циркуляции, охлаждения и подачи в контактор распыления.

Часть образовавшихся твердых частиц в процессе взаимодействия охлажденного газа оседают на дно сосуда охлаждения, далее выгружаются в отстойник для твердых частиц и затем утилизируются.

Обобщённая схема процесса нейтрализации отработанного каустика представлена на рисунке 1.

Внедряемая установка обладает более высокой долей автоматизации и встроенной функциональной безопасностью, имеются контуры управления термоокислителем, узлами закалки и двухступенчатой газоочисткой, что обеспечивает стабильность температуры порядка 982 °С в блоке термического окис-

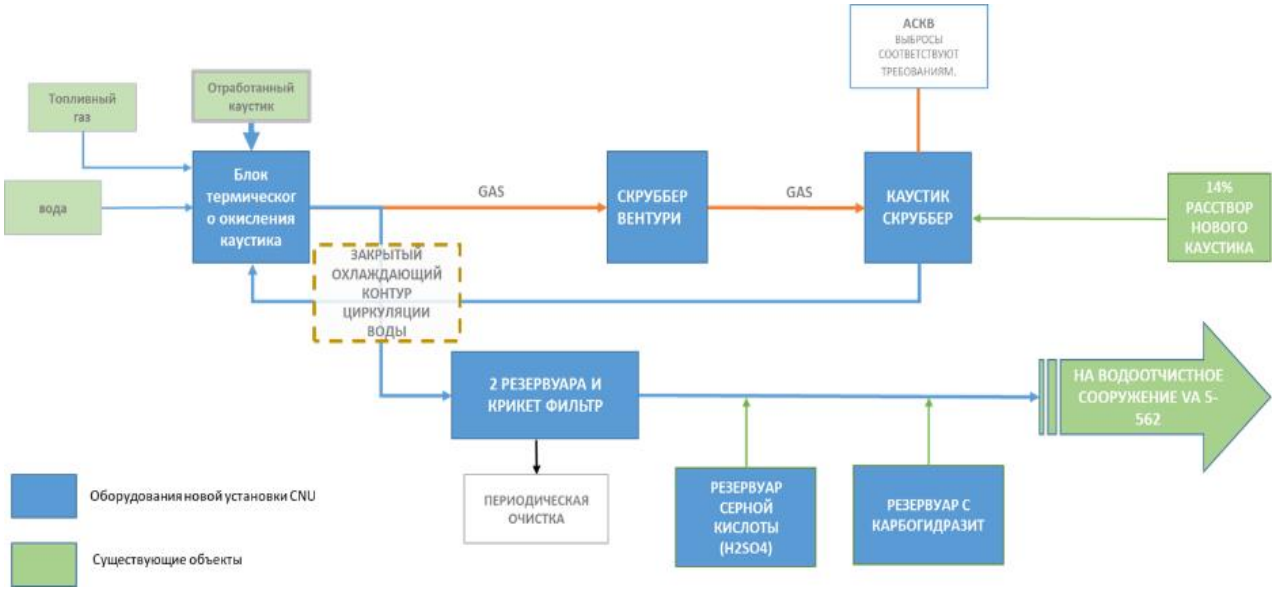


Рисунок 1 – Обобщённая схема процесса нейтрализации отработанного каустика

ления каустика, устойчивость пламени, требуемые разрежение/тяга, циркуляцию воды закалки, работоспособность скруббера Вентури и каустического скруббера по расходам/уровням/ΔP/pH) с автоматическим запретом впрыска при неготовности.

Однако одной из нерешенных задач является снижение объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Для этой цели предлагается использовать автоматизированную систему контроля выбросов (АСКВ). Назначение системы – непрерывный мониторинг эффективности обезвреживания токсикантов, что полностью соответствует требованиям к термической деструкции отходов. Но на текущий момент проблема внедрения АСКВ заключается в отсутствии отработанных технических решений по интеграции измерительных каналов АСКВ в динамические контуры регулирования. Проблема усугубляется значительными временными задержками при получении данных газоанализа, что делает невозможным использование стандартных методов управления «по факту».

При фиксации роста концентрации недоокисленных компонентов функционирование интегрированной системы приведет к изменению режима работы горелочных устройств, синхронизации газоаналитических модулей с узлами дозирования, то есть осуществить выполнение алгоритма управления с обратной связью по фактическим параметрам. Использование результатов онлайн-анализа газов для корректировки технологических режимов позволяет поддерживать стабильность процесса, исключая риски нарушения регламентов безопасной эксплуатации оборудования.

Анализ литературы подтверждает, что использование АСКВ как активного элемента управления в современных АСУ ТП в условиях цифровой модернизации нефтеперерабатывающих предприятий является наиболее перспектив-

ным направлением [6, 7]. А будущее экологического мониторинга на объектах нефтепереработки «связано с переходом к интегрированным, мультисенсорным и интеллектуальным системам, которые обеспечат полный охват, высокую точность и способность прогнозировать выбросы» [8].

В дальнейших исследованиях планируется разработка проектных решений по созданию интеллектуальной автоматизированной системы контроля выбросов, обеспечивающей переход от пассивного наблюдения к проактивному управлению процессом нейтрализации отработанного каустика в режиме реального времени.

Список литературы

1 Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учеб. пособие / С.А. Ахметов. – М.: Недра, 2013. – 541 с. – ISBN 978-5-905153-44-0.

2 Желтобрюхов, В.Ф. Экологическая безопасность процессов и производств в нефтегазовых комплексах: учебное пособие / В.Ф. Желтобрюхов, С.М. Леденев, Г.А. Севрюкова, Ю.Н. Картушина. – Волгоград, 2017. – 112 с. – ISBN 978-5-9948-2476-4.

3 Российская Федерация. Об охране окружающей среды: федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ : [принят Гос. Думой 20 декабря 2001 г.: одобр. Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]; ред. с 01.01.2026. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/901808297.

4 Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ: постановление Правительства РФ от 29.05.2025 № 779. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1312925618.

5 ИТС 9–2020. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/573338441.

6 Еремин, Н.А. Цифровая модернизация нефтегазового производства / Н. А. Еремин, Ал.Н. Еремин, Ан.Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 12. – С. 13-16.

7 Нургалиев, А.И. Проблематика совершенствования экологического мониторинга на нефтегазовых объектах с применением технологий искусственного интеллекта / А.И. Нургалиев, А.А. Назарова, И.В. Шарф // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 10. – С. 38–49.

8 Технологии экологического мониторинга выбросов в нефтегазовой отрасли: сравнительный анализ и перспективы интеграции / М.А. Момени, О.В. Брусник, А.И. Нургалиев, А.А. Назарова, А.В. Шадрина // Neftegaz.RU. – 2025. – №10.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Ульянова Т.С., Акимов С.С., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современных условиях эксплуатации опасных производственных объектов, к которым относятся коллекторно-лучевые системы сбора газа (КСС), информация выступает не просто вспомогательным элементом, а стратегическим ресурсом, определяющим саму возможность безопасного и эффективного функционирования. Системы противоаварийной защиты (ПАЗ) эволюционировали от простых релейно-логических схем к сложным информационно-аналитическим комплексам, где качество, своевременность и полнота данных становятся критическими параметрами, напрямую влияющими на уровень промышленной безопасности. Значимость информации для ПАЗ можно рассматривать через несколько взаимосвязанных аспектов, образующих концептуальную основу для построения современных систем безопасности.

Прежде всего, информация является основой для формирования ситуационной осведомленности. Непрерывный поток данных от сотен датчиков, контролирующих давление, температуру, расход, вибрацию, загазованность и другие технологические параметры, создает цифровую модель текущего состояния объекта в реальном времени. Эта модель позволяет не только отслеживать соблюдение безопасных границ, но и выявлять малозаметные аномалии и негативные тренды на докритической стадии. Как отмечается в исследованиях, направленных на мониторинг КСС, именно раннее обнаружение отклонений, таких как медленное падение давления или рост температуры в шлейфе, является ключом к предотвращению развития аварийных ситуаций, а не просто к реагированию на их свершившийся факт [1].

Во-вторых, информация служит сырьем для анализа рисков и прогнозного моделирования. Современный подход к ПАЗ предполагает переход от реактивной к предиктивной парадигме. Эффективная защита должна не просто парировать уже возникшую угрозу, а прогнозировать ее вероятность на основе анализа совокупности данных. Для этого используются методы интеллектуального анализа данных, позволяющие выявлять скрытые зависимости и корреляции. Например, анализ исторических данных об отказах оборудования в сочетании с текущими параметрами работы позволяет оценить остаточный ресурс узлов и спрогнозировать время потенциального отказа. Такой подход, основанный на информации, позволяет планировать превентивные технические обслуживания и избегать внезапных аварийных остановок [2].

Третий аспект заключается в том, что информация является непосредственной основой для алгоритмов принятия решений самой системой ПАЗ. Ло-

гика формирования управляющих воздействий в современных системах строится на комплексном анализе множества сигналов, а не на срабатывании по одному параметру. Это требует высокой степени достоверности и непротиворечивости поступающих данных. Ложный сигнал от одного датчика, не подтвержденный информацией с других точек контроля, не должен приводить к дорогостоящему аварийному отключению, но в то же время должен тщательно анализироваться. Таким образом, качественная информация позволяет реализовать сложные сценарные логики, выбирая оптимальный отклик системы: от корректировки режима работы и выдачи предупреждения оператору до полной аварийной остановки технологического участка [3].

Однако абстрактное наличие информации недостаточно. Ее практическая ценность для ПАЗ определяется строгим набором качественных характеристик, которые были формализованы в рамках данного исследования. Достоверность данных является соответствие данных реальному состоянию объекта. Оперативность поступления и обработки информации критична, поскольку временной лаг между возникновением предпосылки к аварии и реакцией системы должен быть минимальным. Полнота охвата ключевых параметров и точек контроля обеспечивает целостность картины, исключая принятие решений на основе изолированных данных. Непротиворечивость сигналов от разных источников, обеспечиваемая едиными стандартами измерения и передачи, и понятность представления о наличии всей необходимой информации для принятия обоснованного решения.

Следовательно, проектирование и эксплуатация эффективной ПАЗ для КСС невозможны без создания адекватного информационного обеспечения. Это предполагает не только развертывание сети точных и надежных датчиков, но и построение многоуровневой системы сбора, передачи, верификации и интеллектуального анализа данных. Таким образом, информация в контексте современных систем противоаварийной защиты трансформируется из пассивного регистрируемого параметра в активный управляющий ресурс, что обуславливает необходимость глубокой научной и практической проработки вопросов оценки и обеспечения ее качества на всех этапах жизненного цикла [4].

Повышение качества информационного обеспечения является одним из наиболее значимых направлений совершенствования систем противоаварийной защиты. Это достигается за счёт внедрения современных средств сбора и обработки данных (датчики нового поколения, системы телеметрии); использования методов верификации и фильтрации информации для повышения её достоверности; интеграции разнородных источников данных в единое информационное пространство; разработки и оптимизации алгоритмов анализа, способных работать в условиях неполной или нечёткой информации.

Как показано в практике разработки прототипа системы поддержки принятия решений для комплексных систем безопасности (КСС), использование структурированных моделей (например, UML-диаграмм компонентов) позволяет наглядно представить и оптимизировать информационные потоки для каждого критерия. Это способствует созданию более целостных, адаптивных и

надёжных систем, способных эффективно функционировать в динамично изменяющихся условиях. UML-диаграммы компонентов для каждого из критериев информации представлены на рисунке 1.

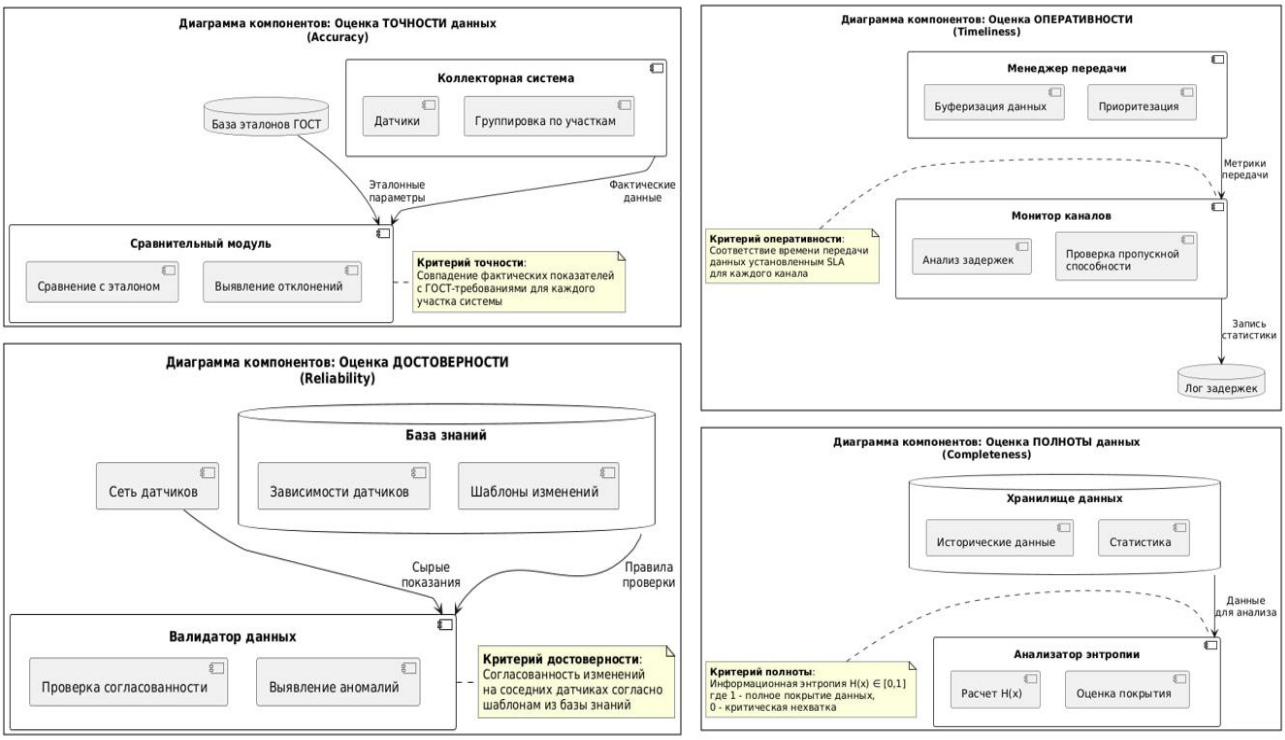


Рисунок 1 – UML-диаграммы компонентов для каждого из критериев информации

Таким образом, созданный прототип системы поддержки принятия решений для КСС на базе информационной системы обладает значительным потенциалом для повышения эффективности управления. Реализация прототипа продемонстрирует возможность интеграции различных модулей и алгоритмов, что способствует улучшению качества и скорости принятия решений. Это обеспечит более надежную работу системы и её широкое применение в практике.

Список литературы

1 Ульянова, Т.С. Обзор подходов к организации систем сбора информации о продукции газовых и газоконденсатных месторождений / Т.С. Ульянова, С.С. Акимов, А.С. Боровский // Инновации. – 2021. – № 8(274). – С. 38-48.

2 Ульянова, Т.С. Методика проведения пусконаладочных работ на газовых хранилищах / Т.С. Ульянова, С.С. Акимов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 23–25 января 2019 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 989-992.

3 Ульянова, Т.С. Способ определения измерительной сложности приборов и устройств для построения информационно-измерительной системы / Т.С.

Ульянова, С.С. Акимов // Автоматизация. Современные технологии. – 2023. – Т. 77, № 11. – С. 523-527.

4 Медведев, В.Н. Проектирование средств интеллектуального информационного поиска для автоматизации процессов контроля технического состояния объектов добычи газа / В.Н. Медведев, Ф.Г. Тухбатуллин, А.Б. Докутович [и др.] // Газовая промышленность. – 2011. – № 8(663). – С. 95-97.

5 Ульянова, Т.С. Классификация систем промыслового сбора извлекаемого газа / Т.С. Ульянова, А.С. Боровский, С.С. Акимов, Е.М. Езерская // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : сборник материалов X Всероссийской конференции, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 224-228.

6 Акимов, С.С. Процесс управления и контроля работы участков газопровода / С.С. Акимов, Б.К. Жумашева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 23–25 января 2019 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 672-675.

ОБЗОР СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Уразгалиев М.К., Шерстобитова В.Н. канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Качество сварных соединений является одним из ключевых факторов, определяющих безопасность, долговечность и потребительские свойства конечной продукции, такой как кузов автомобиля. В условиях современного конвейерного производства, характеризующегося высокими ритмами выпуска, обеспечение стабильного и высокого качества сварки становится сложнейшей технологической задачей. Традиционные методы контроля, в значительной степени зависящие от визуальной оценки и субъективного мнения оператора, уже не справляются с требованиями объективности, воспроизводимости и скорости [1]. Последствия дефекта сварки, обнаруженного на поздних этапах сборки, или, что хуже, у конечного потребителя, сопряжены с колоссальными репутационными и финансовыми издержками, включая отзывные кампании.

Возникает острая необходимость во внедрении систематического, технологически продвинутого подхода к оценке качества сварных швов. Такой подход должен позволять не только обнаруживать дефекты, но и предотвращать их появление, интегрируясь в общий производственный процесс через анализ данных. В этом контексте особую актуальность приобретает задача полной автоматизации технологического процесса неразрушающего контроля.

Автоматизация подразумевает создание роботизированных комплексов, оснащенных современными средствами диагностики, которые работают в едином ритме с конвейерной линией, исключая человеческий фактор и обеспечивая стопроцентный объективный контроль. Однако путь к созданию эффективной системы лежит через тщательный анализ методов. Для интеграции в автоматизированный конвейерный комплекс метод должен отвечать строгим критериям: высокая скорость сканирования, возможность роботизированного позиционирования, однозначная алгоритмизация анализа данных и минимальные требования к подготовке поверхности. Исходя из этого, не все традиционные методы в равной степени готовы к такой роли [2].

Наиболее перспективным (таблица 1) для реализации быстрого стопроцентного контроля непосредственно на конвейере является ультразвуковой метод. Его главные преимущества – высокая скорость распространения колебаний и мгновенное получение сигнала, что позволяет сканировать шов в реальном времени [3]. Ключевым прорывом стало развитие технологий ультразвуковых фазированных решеток [4] и многоканальных систем с автоматической фокусировкой луча. Манипулятор с ультразвуковой головкой, управляемый роботом, не просто перемещается по шву, а динамически адаптирует угол ввода и фо-

кусное расстояние для оптимального сканирования сложной геометрии. За секунды робот обследует сложнопрофильное соединение, детектируя внутренние несплошности. Результат – цифровая карта дефектности, где каждый пиксель соответствует координате и амплитуде эхо-сигнала. Продвинутые алгоритмы позволяют автоматически предварительно классифицировать дефект, такой как трещина, пора или непровар, и оценить его условные размеры. Это делает ультразвук основой для непрерывного мониторинга. Однако внедрение роботизированного ультразвукового контроля сталкивается с вызовами: необходимость стабильного акустического контакта через жидкость или иммерсионную ванну и сложность настройки алгоритмов для минимизации ложных вызовов от геометрических особенностей изделия, что требует этапа обучения системы на эталонных образцах [5, 6, 7].

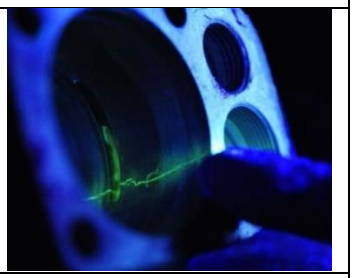
Для выборочного углубленного контроля ответственных узлов идеально подходит радиографический метод, особенно в цифровом виде. Он предоставляет объективное и наглядное изображение сечения шва, позволяя точно классифицировать дефекты, включая, например, горячие трещины в титановых сплавах [8]. Однако большое время экспозиции, строгие меры радиационной безопасности и цикличность процесса делают его малопригодным для сплошного контроля на быстро движущейся линии. Поэтому в автоматизированном комплексе радиография занимает нишу стационарного поста для детальной экспертизы. Современные системы с плоскопанельными детекторами и алгоритмами компьютерного анализа ускоряют получение и интерпретацию радиограммы. В такой системе выбранный узел по рельсовому пути подается в защищенную кабину, где робот-манипулятор проводит сканирование, а программное обеспечение автоматически маркирует аномалии.

Вихретоковый метод также может быть автоматизирован для обнаружения поверхностных дефектов, особенно на алюминиевых сплавах и разнородных сталях, но требует точного поддержания расстояния до объекта. Капиллярный и магнитопорошковый методы, несмотря на эффективность, сильно зависят от этапов нанесения материалов и визуальной интерпретации, что затрудняет их полную автоматизацию для сложных пространственных швов, оставляя их для локального применения оператором [2, 9].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов контроля

Метод контроля	Преимущества	Недостатки (в контексте автоматизации на конвейере)	Изображение
Визуальный	Простота, низкая стоимость	Не обнаруживает внутренние дефекты, требует сложных систем машинного зрения	

Продолжение таблицы 1

Метод контроля	Преимущества	Недостатки (в контексте автоматизации на конвейере)	Изображение
Магнитопорошковый	Высокая чувствительность к поверхностным дефектам	Требует подготовки поверхности (гель, масло), использования ферромагнитного порошка, неприменим для немагнитных сталей	
Капиллярный	Высокая чувствительность, применимость для любых материалов	Использование жидкостей, длительный процесс, требует тщательной очистки	
Радиографический	Высокая точность, объективность, документальный результат	Медленная скорость, строгие требования безопасности, громоздкое оборудования, дороговизна	
Ультразвуковой	Высокая чувствительность к трещинам, портативность оборудования	Требует контактной среды, сложность сканирования криволинейных поверхностей	
Вихретоковый	Высокая скорость, бесконтактность	Ограниченная глубина контроля, чувствительность к материалу и геометрии измеряемой поверхности	

Современная автоматизированная система контроля – это не просто набор роботов. Это генератор огромного массива структурированных данных.

Важнейшим этапом является их интеграция в общую систему управления производством и систему управления качеством. Это позволяет не просто отбраковывать дефектные узлы, но и выявлять корреляции между параметрами сварки, такими как ток и напряжение, и появлением дефектов. Таким образом, система эволюционирует из инструмента констатации в инструмент превентивного управления качеством. Анализ трендов в реальном времени может сигнализировать о дрейфе параметров сварочного оборудования, предотвращая возникновение бракованной партии. Это основа для предиктивной аналитики, уже находящей применение в ответственных отраслях, например, при мониторинге трубопроводов [6, 10].

Архитектура современной автоматизированной системы контроля строится на синергии методов ультразвукового контроля, который служит основой для быстрого стопроцентного скрининга на линии, и дополненным выборочным радиографическим контролем для валидации и углубленного анализа. Цифровая платформа объединяет данные, обеспечивая мониторинг, анализ и интеграцию в производственный контур. Внедрение такой системы представляет собой создание «цифрового двойника» контроля качества – фундамент для перехода к концепции «Industry 4.0». Каждое сварное соединение получает цифровую историю, основанную на объективных данных. Дальнейшее развитие видится в усилении роли искусственного интеллекта для автоклассификации дефектов и интеграции систем неразрушающего контроля непосредственно в сварочные роботы для создания замкнутого адаптивного цикла [11], где контроль неотделим от самого процесса создания соединения, гарантируя высочайший уровень качества, безопасности и эффективности [12].

В заключение можно констатировать, что обеспечение высокого и стабильного качества сварных соединений в условиях автоматизированного конвейерного производства требует перехода от субъективных традиционных методов к комплексным роботизированным системам неразрушающего контроля. Наиболее перспективным для интеграции в производственную линию является ультразвуковой метод, обеспечивающий быстрый стопроцентный контроль, тогда как радиографический метод эффективно дополняет систему для выборочной углубленной экспертизы. Ключевое значение имеет не только автоматизация самого процесса сканирования, но и интеграция генерируемых данных в общую систему управления производством и качеством, что позволяет перейти к превентивному анализу и предотвращению дефектов. Таким образом, современные автоматизированные системы формируют «цифрового двойника» контроля качества, закладывая основу для интеллектуального производства. Дальнейшее развитие связано с усилением роли искусственного интеллекта для классификации дефектов и созданием замкнутых адаптивных циклов, где контроль становится неотъемлемой частью технологического процесса.

Список литературы

1 Петров, Г. И. Технологии неразрушающего контроля в сварочном производстве : учебник для вузов / Г. И. Петров. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 450 с.

2 Справочник по методам неразрушающего контроля сварных соединений / под ред. В. В. Клюева. – Москва : Машиностроение, 2019. – 480 с.

3 Акустические методы диагностики сварных швов : сборник статей / под ред. И. С. Сидорова. – Екатеринбург : Издательство Уральского федерального университета, 2022. – 150 с.

4 Применение фазированных решеток для ультразвукового контроля сварных соединений из аустенитных сталей // Контроль. Диагностика. – 2022. – № 5. – С. 34–40.

5 Исследование возможности применения акустической эмиссии для мониторинга состояния сварных швов магистральных газопроводов : отчет о научно-исследовательской работе № 112-ЦНИИ / ЦНИИ технологии сварочного оборудования ; руководитель С. И. Петров. – Москва, 2022. – 95 с.

6 Бадалян, В. Г. Мониторинг сварных соединений трубопроводов с использованием систем автоматизированного ультразвукового контроля с когерентной обработкой данных / В. Г. Бадалян, А. Х. Вопилкин // Контроль. Диагностика. – 2022. – № 8. – С. 15–22.

7 Ультразвуковой контроль в промышленности : аннотированный библиографический указатель отечественных и зарубежных публикаций за 2018-2022 гг. / сост. Л. П. Орлова. – Москва : Стандартинформ, 2023. – 210 с.

8 Разработка радиографического метода для выявления горячих трещин в сварных швах титановых сплавов // Сварка и диагностика. – 2023. – № 3. – С. 45–51.

9 Козлов, А. В. Повышение достоверности капиллярного контроля дефектов в сварных соединениях авиационных конструкций : диссертация … кандидата технических наук : 05.02.08 / А. В. Козлов. – Москва, 2023. – 180 с.

10 Лисин, Ю. В. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов : РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05 : утв. ОАО «АК «Транснефть» 08.11.2005 / Ю. В. Лисин. – Москва, 2005. – 89 с.

11 Современное состояние и перспективы развития роботизированных комплексов неразрушающего контроля в судостроении : аналитический обзор / сост. А. Н. Семенов. – Санкт-Петербург : ЦНИИ «Румб», 2023. – 65 с.

12 Smith, J. Automated Inspection of Printed Circuit Boards Using AI / J. Smith, K. Brown // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2021. – Vol. 68, no. 5. – P. 1124–1145.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Филь В.Ю., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На данный момент процесс литья алюминиевых деталей под высоким давлением представляет собой одно из наиболее эффективных направлений изготовления точных заготовок из алюминия в машиностроении. Суть метода заключается в том, что расплавленный металл под давлением подается в полость пресс-формы, где происходит его затвердевание (кристаллизация). Такой подход позволяет получать заготовки со сложной конфигурацией и с минимальным припуском для последующей механической обработки, что в конечном итоге особенно важно для тонкостенных или крупных деталей.

Цикл литья (рисунок 1) происходит следующим образом: расплавленный металл загружается в камеру прессования, с помощью гидравлического поршня алюминий под высоким давлением вводится в полость формы, заполняя её даже в самых сложных участках. После заполнения осуществляется подпрессовка – поддержание давления для уплотнения структуры и устранения пористости. Затем металл кристаллизуется и охлаждается до заданной температуры, и готовая отливка извлекается из рабочей полости формы. Пресс-форма очищается и смазывается, после чего цикл повторяется [1].

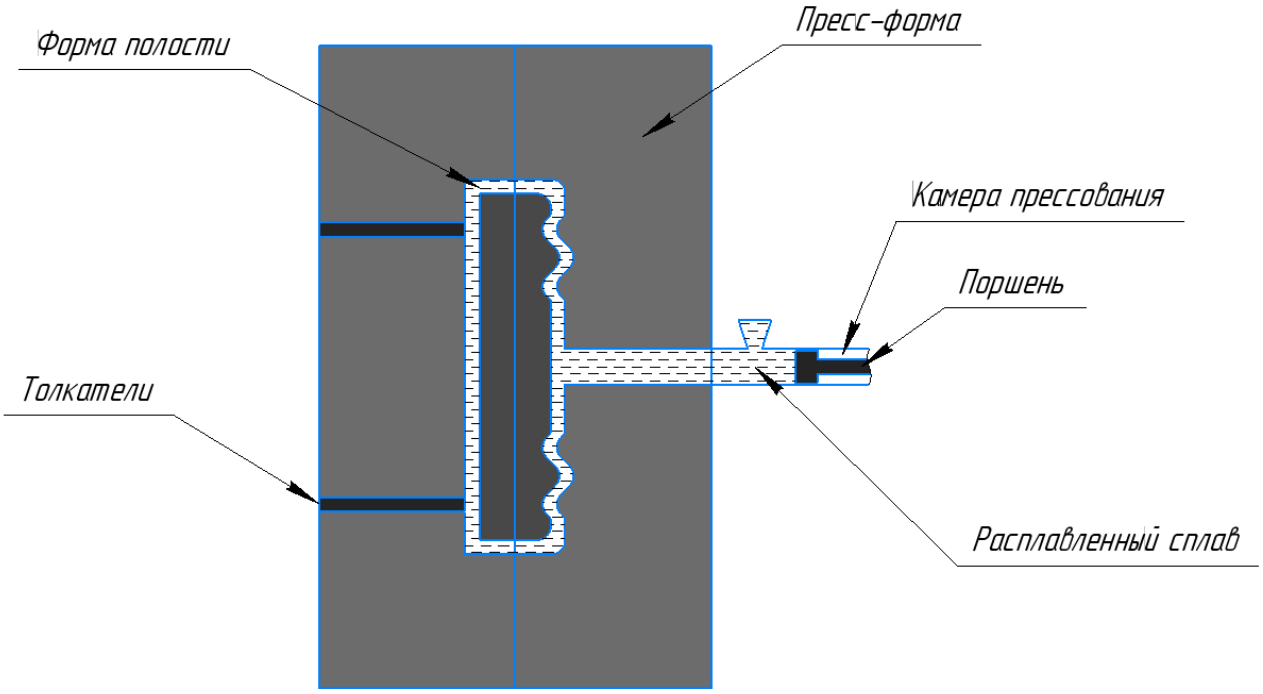


Рисунок 1 – Процесс литья алюминиевых деталей под давлением

К значительным факторам, влияющим на качество отливок, относятся колебания переменных параметров технологического процесса. К основным параметрам относятся давление в камере прессования и пресс-форме, скорости движения поршня и скорости впуска жидкого металла в форму, температура заливаемого металла и формы, режимы смазывания и охлаждения рабочей полости формы и камеры прессования.

При этом амплитуда колебаний параметров может варьироваться в связи с тем, что каждая стадия процесса протекает чрезвычайно быстро: отдельные операции занимают сотые или тысячные доли секунды. И для достижения максимально возможного качества заготовок необходимы следующие условия: наличие оптимальных технологических режимов и строгий контроль за параметрами и факторами.

Оптимальные технологические режимы находят благодаря многочисленным исследованиям, где устанавливают связи между параметрами и показателями качеств отливок. Обычно это довольно длительный и трудоемкий процесс, включающий серию экспериментов. Сократить серию экспериментов и получить математическую модель помогает планирование эксперимента.

Тем не менее, при традиционной организации производства контроль за системой остаётся ручным и осуществляется литейщиком. В течение смены оператор не способен выполнять операции в одном и том же темпе и поддерживать параметры строго на заданном уровне. Более того, из-за скорости протекания процессов человек физически не успевает реагировать на возникающие колебания. Это приводит к уменьшению стабильности качества и ограничению эффективности применения средств измерения и контроля.

Таким образом, для преодоления ограничения ручного контроля и обеспечения процесса возможно лишь за счёт внедрения автоматизированных систем, которые стабилизируют технологические параметры и минимизируют влияние человеческого фактора. Автоматизированная система управления устраняет перечисленные недостатки, обеспечивая непрерывный мониторинг параметров, анализ информации и формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы [2, 3].

Основой любой автоматизированной системы являются средства измерения, обеспечивающие сбор информации о состоянии технологического процесса. В машинах для литья алюминиевых деталей под давлением применяются датчики давления в камере прессования и полости формы, термопары для контроля температуры металла, пресс-формы и охлаждающей жидкости, датчики положения и скорости поршня, расходомеры и датчики уровня охлаждающих и смазывающих жидкостей. Все эти элементы формируют массив данных, который поступает в контроллеры и программные комплексы для дальнейшей обработки.

Исполнительные механизмы являются второй ключевой частью САУ. К ним относятся гидроприводы поршней, управляющие процессом впрыска и подпрессовки, клапаны систем охлаждения, регулирующие подачу жидкости и интенсивность теплообмена, а также механизмы смазки рабочей поверхности

пресс-формы. Для извлечения отливок и очистки формы могут использоваться сервоприводы и манипуляторы, которые также подчиняются командам автоматизированной системы. Взаимодействие между датчиками и исполнительными механизмами обеспечивает управляющее ядро – программируемый логический контроллер (ПЛК). Он обрабатывают входные сигналы, сравнивают их с эталонными параметрами и формируют команды для стабилизации процесса.

Для контроля скорости и положения поршня используются инкрементальные и абсолютные энкодеры, что позволяет с высокой точностью регулировать движение гидравлической системы. На более продвинутых установках применяются вибродатчики для диагностики состояния пресс-формы и приводов, а также инфракрасные камеры для контроля равномерности распределения температуры на поверхности формы.

Программное обеспечение также играет ключевую роль. В качестве управляющего ядра широко применяются промышленные контроллеры, различных компаний. Они обеспечивают высокую скорость обработки сигналов и возможность реализации сложных алгоритмов регулирования. Для визуализации и взаимодействия с оператором используются SCADA-системы, например, TRACE MODE, MasterSCADA, которые предоставляют удобный интерфейс для настройки параметров, мониторинга процесса и регистрации аварийных событий. Интеграция SCADA с базами данных позволяет вести архивирование информации, строить графики и проводить последующий анализ качества литья.

Алгоритмы работы САУ строятся по принципу замкнутого контура управления. Это означает, что каждое воздействие на процесс сопровождается обратной связью в виде новых измерений параметров. Например, при изменении температуры металла в плавильной камере система автоматически регулирует мощность нагревательных элементов или интенсивность охлаждения, предотвращая перегрев или переохлаждение. Аналогичный подход применяется для управления давлением и скоростью впрыска: движение поршня регулируется так, чтобы форма заполнялась равномерно и без образования пустот.

Каждый этап цикла литья управляется с использованием замкнутых контуров регулирования и предиктивных моделей. На стадии загрузки расплава в камеру прессования система контролирует его температуру, вязкость и объём. Если параметры выходят за допустимые пределы, контроллер автоматически корректирует нагревательные элементы или подачу металла. На этапе впрыска в полость формы главной задачей является поддержание оптимального давления и скорости поршня. Система в режиме реального времени анализирует график изменения давления: при слишком резком росте возможна деформация формы, при снижении – неполное заполнение полости. Использование ПИД-регуляторов в сочетании с алгоритмами адаптивного управления позволяет поддерживать давление на заданном уровне даже при случайных возмущениях.

Стадия подпрессовки требует удержания давления до завершения кристаллизации. В этот момент автоматизированная система регулирует гидропривод так, чтобы металл уплотнялся равномерно, а газовые включения вытеснялись из структуры. При этом система контролирует не только давление, но и

температуру формы: слишком быстрое охлаждение может вызвать образование трещин.

На этапе кристаллизации и охлаждения САУ управляет подачей охлаждающей жидкости. В зависимости от геометрии детали и толщины стенок система изменяет интенсивность охлаждения в разных зонах формы. Это обеспечивает равномерное формирование структуры металла, снижает внутренние напряжения и предотвращает коробление изделия.

Завершающим этапом является извлечение готовой отливки и подготовка формы к следующему циклу. Здесь автоматизация управляет механизмами раскрытия формы, манипуляторами для извлечения изделия и устройствами очистки. Система контролирует правильность хода операций, предотвращая столкновения или заклинивания. После очистки и смазки пресс-форма возвращается в исходное состояние, и цикл повторяется.

Рассмотренный процесс автоматизированного литья алюминиевых деталей под давлением представляет собой не только эффективную производственную технологию, но и наглядный пример сложной технической системы с большим числом взаимосвязанных параметров и замкнутых контуров управления. Высокая динамичность процесса, необходимость строгого соблюдения технологических режимов и использование современных средств автоматизации делают данный объект показательным с точки зрения подготовки инженерных кадров, ориентированных на разработку, эксплуатацию и совершенствование автоматизированных технологических процессов [1, 4].

Использование автоматизированного процесса литья алюминиевых деталей под давлением в образовательной деятельности позволяет рассматривать данный технологический объект как целостную инженерную систему, в которой объединяются физические процессы, средства измерения и алгоритмы управления. Высокая динамичность процесса и жёсткие требования к качеству отливок формируют необходимость системного подхода к управлению, что делает его показательной моделью для изучения дисциплин, связанных с автоматизацией технологических процессов и системами управления.

В отличие от абстрактных учебных примеров, автоматизированное литьё под давлением демонстрирует реальные ограничения промышленного производства, включая влияние колебаний параметров, быстропротекающий характер технологических стадий и необходимость замкнутого регулирования. Это позволяет обучающимся сформировать понимание взаимосвязи между физической сущностью процесса, параметрами управления и качеством конечного продукта, что является ключевым элементом инженерного мышления специалиста по автоматизации [1, 5].

В рамках подготовки инженеров по автоматизации рассматриваемый процесс целесообразно использовать как комплексную учебную программу при изучении принципов построения систем автоматического управления. Анализ структуры автоматизированного литейного участка позволяет студентам изучить взаимодействие измерительных средств, исполнительных механизмов и программируемых логических контроллеров, а также проследить реализацию

замкнутых контуров регулирования давления, температуры и скорости исполнительных органов. Это создаёт основу для формирования навыков проектирования и анализа САУ для сложных технологических объектов [3].

Особую методическую ценность представляет возможность рассмотрения нештатных режимов и отклонений параметров процесса. На примере автоматизированного литья под давлением обучающиеся могут анализировать причины возникновения дефектов отливок, оценивать последствия нарушений технологических режимов и разрабатывать меры по стабилизации процесса. Такой подход способствует развитию способности принимать обоснованные технические решения в условиях неопределённости и ограниченного времени, что является важной профессиональной характеристикой инженера по автоматизации [5].

В целом автоматизированный процесс литья алюминиевых деталей под давлением следует рассматривать как показательный пример современного высокотехнологичного производства, в котором сочетаются сложные физические процессы, развитые системы автоматического управления и жёсткие требования к качеству продукции. Его анализ позволяет продемонстрировать роль автоматизации в обеспечении стабильности технологических режимов, снижении влияния человеческого фактора и повышении воспроизводимости результатов. Рассмотренный подход подчёркивает значимость комплексной автоматизации литейных процессов как одного из ключевых направлений развития машиностроительного производства и инженерной подготовки в условиях цифровизации промышленности.

Список литературы

1 Беккер, М. Б. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М.Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко [и др.] // Москва : Машиностроение, 1990. – 400 с.

2 Белов, В. М. Литье под давлением деталей, получаемых из сплавов с повышенной температурой плавления / В. М. Белов, С. И. Юдковский // Литейное производство. –1987. – № 12. – С. 13-14.

3 Кукуй, Д. М. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие / Д. М. Кукуй, В. Ф. Олиночко // Минск : Новое знание, 2008. – 240 с.

4 Маляров, В. И. Опыт разработки АСУ ТП / В. И. Маляров, С. В. Иванов, В. М. Попов // Совершенствование технологии и организации производства литья под давлением. – 1980. – С. 109-114

5 Чони, Ю. И. Формирование инженерного стиля мышления у студентов технического вуза / Ю. И. Чони // Вопросы психологии, педагогики и образования: интеграция науки и практики. – 2013. – С. 118–126.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТПУСКНОЙ ХРУПКОСТИ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ 40ХН

Черникова В.Ф.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Отпускную хрупкость сталей исследуют уже много десятилетий, однако интерес к этой проблеме не снижается. В последние годы закономерности развития обратимой отпускной хрупкости получили значительное развитие. Это обусловлено, с одной стороны, появлением новых экспериментальных методов исследования, а с другой – большим практическим значением отпускной хрупкости в связи с возросшим уровнем требований, предъявляемых к сопротивлению хрупкому разрушению деталей ответственного оборудования.

Исследованию подвергалась сталь 40ХН поставки ОАО «Белорусский металлургический завод».

Закалка осуществлялась в масле от температуры 830 ºС [1], время выдержки при данной температуре образцов, сечением 10×10×55 составило 30 минут. Температура отпуска варьировалась от 200 ºС до 650 ºС с интервалом 50 ºС. Отпуск осуществлялся на воздухе.

Повторный нагрев образцов после закалки и высокого отпуска при 650 ºС в воду осуществлялся в интервале температур от 540 ºС до 640 ºС. Время выдержки при повторном отпуске составило 1, 2 и 4 часа. Охлаждение производилось на воздухе.

Закалка не является окончательной термической обработкой. После закалки обязательной операцией является отпуск.

Так, при нагреве до температуры 300 ºС структура представляет собой отпущенный мартенсит [2]. В интервале температур 300 ºС – 450 ºС структура стали представляет собой троостит отпуска, то есть феррито-цементитную смесь, сохранившую ориентацию мартенситоподобной структуры. При повышении температуры нагрева выше 450 ºС в структуре начинают прослеживаться процессы, связанные с коагуляцией карбидов: укрупнение кристаллов цементита в результате растворения более мелких кристаллов и роста крупных.

Рассмотрим характер изменения твердости закаленной стали 40ХН при отпуске (рисунок 1).

При низких температурах отпуска (от 200 ºС до 350 ºС) твердость стали составляет около 52 единиц HRC и почти не изменяется. С дальнейшим повышением температуры до 500 ºС твердость стали падает до значений 38,5 HRC. В интервале температур от 350 ºС до 500 ºС микроструктура стали соответствовала трооститу отпуска. При более высоких температурах отпуска наблюдается интенсивное разупрочнение (до 22 HRC при температуре 650 ºС) преимущественно за счет процессов коалесценции карбидов, перестройкой дислокаций в ферритной матрице.

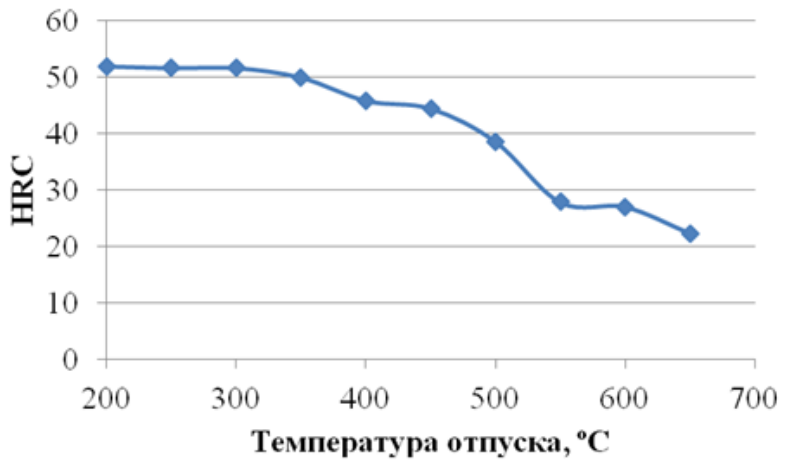


Рисунок 1 – Зависимость твердости стали 40ХН от температуры отпуска

Рассмотрим характер изменения ударной вязкости с изменением температуры отпуска исследуемой стали, представленный на рисунке 2.

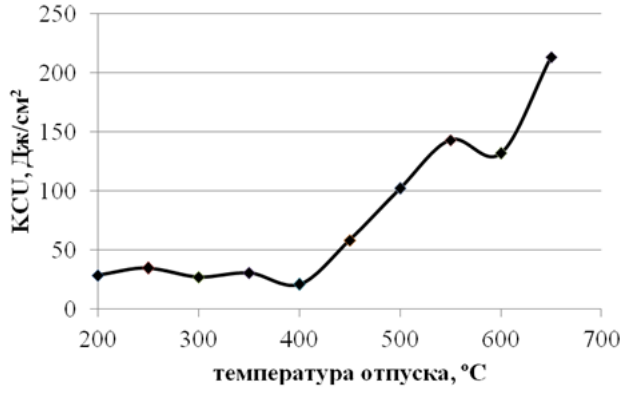


Рисунок 2 – Зависимость ударной вязкости стали 40ХН от температуры отпуска

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в интервале температур от 200 ºС до 350 ºС величина KCU стали практически не изменяется и составляет от 28 до 30 Дж/см^2. При температуре 400 ºС наблюдается небольшой провал до значений 20 Дж/см^2, возможно связанный с развитием необратимой отпускной хрупкости стали. С дальнейшим повышением температуры отпуска ударная вязкость интенсивно растет до значений 143 Дж/см^2. Далее наблюдается второй провал до уровня 131 Дж/см^2 при температуре 600 ºС. После отпуска при 650 ºС ударная вязкость имеет наиболее высокие значения, соответствующие уровню 213 Дж/см^2.

Как сказано выше, температурным интервалом развития процессов обратимой отпускной хрупкости исследуемой стали 40ХН предположительно можно считать интервал от 550 ºС до 650 ºС. Причем, при температуре отпуска 650

ºС значения ударной вязкости максимальны и отвечают высокому уровню вязкости материала, соответствующему 213 Дж/см^2. Для подтверждения явления охрупчивания в данном температурном интервале образцы стали 40ХН в неохрупченном состоянии, то есть после закалки и отпуска при температуре 650 ºС, подвергали повторному отпуску в интервале температур от 540 ºС до 560 ºС с интервалом в 20 ºС с различным временем выдержки (1, 2 и 4 часа). Полученные результаты изменения ударной вязкости представлены на рисунке 3.

Согласно полученным данным повторный нагрев вызывает снижение уровня ударной вязкости стали, по сравнению со значением, полученными после отпуска при 650 ºС. Видно, что при температурах повторного отпуска 540 ºС и 640 ºС, значения ударной вязкости наиболее приближены к искомой высокой вязкости материала независимо от времени выдержки. С увеличением длительности выдержки в интервале охрупчивание стали усиливается Наименьшие значения, соответствующие уровню 80 Дж/см^2, отмечаются в интервале температур от 580 ºС до 600 ºС.

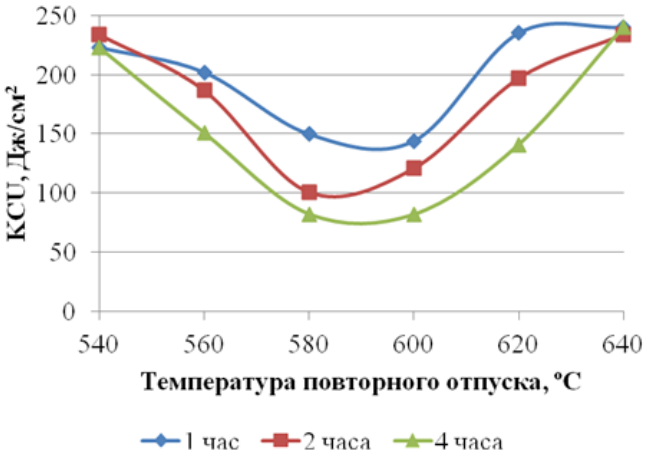


Рисунок 3 – Изменение уровня ударной вязкости в зависимости от температуры и времени выдержки при повторном отпуске

Для оценки обратимости процесса отпускной хрупкости образцы исследуемой стали после охрупчивающего отпуска при температурах 580 ºС и 600 ºС были подвергнуты новому отпуску при температуре 650 ºС. Полученные значения ударной вязкости составляют 223 и 231 Дж/см^2.

На основании проведенных исследований среднеуглеродистой легированной стали 40ХН после различных режимов ее термической обработки можно сделать следующие выводы:

– с увеличением температуры отпуска закаленной стали 40ХН происходит изменение ее структуры: в интервале температур отпуска от 200 ºС до 300 ºС микроструктура соответствует мартенситу отпуска; от 350 ºС до 450 ºС – трооститу отпуска; от 500 ºС до 650 ºС – сорбиту отпуска;

– с увеличением температуры отпуска происходит монотонное снижение твердости от 52 до 22 HRC и рост ударной вязкости от 28,5 до 213 Дж/см^2. При температурах отпуска 400 ºС и 600 ºС наблюдаются два провала, обусловленные развитием процессов отпускной хрупкости;

– установлено, что в интервале температур повторного отпуска от 560 ºС до 620 ºС значения ударной вязкости снижаются по сравнению со значениями после закалки и отпуска при 650 ºС;

– для данной марки стали рекомендуемыми температурными интервалами отпуска является от 450 ºС до 550 ºС и от 620 ºС до 650 ºС в зависимости от требуемой вязкости материала.

В ходе проведенного комплекса исследований установлено, что интервалом развития обратимой отпускной хрупкости стали 40ХН является интервал температур от 560 ºС до 620 ºС. С увеличением длительности выдержки в установленном интервале охрупчивание стали интенсифицируется. Свидетельством обратимости процесса является восстановление вязких свойств исследуемой стали после нового отпуска при 650 ºС. В связи с этим, опасным интервалом температур стали 40ХН заданного химического состава следует считать интервал от 560 ºС до 620 ºС, и избегать его при назначении режимов термической обработки.

Список литературы

1 Марочник сталей и сплавов. Под ред. В. Г. Сорокина. – М. : Интермет Инжиниринг, 2003. – 680 с.

2 Смирнов, М. А. Основы термической обработки стали : учебное пособие / М. А. Смирнов, В. М. Счастливцев, Л. Г. Журавлев. – Екатеринбург : УрОРАН, 1999. – 496 с.

3 Утевский, Л. М., Обратимая отпускная хрупкость / Л. М. Утевский, Е. Э. Гликман, Г. С. Карк. – М. : Металлургия. 1987. – 222 с.

4 Курдюмов, Г.В. Превращения в железе и стали / Г.В. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.И. Энтин. – М. : Наука, 1977. – 236 с.

5 Устиновщиков, Ю.И. Природа отпускной хрупкости сталей / Ю.И. Устиновщиков. – М. : Наука, 1984. – 240 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА

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

Развитие топливной индустрии в XXI веке характеризуется интенсивным использованием и разработкой нефтегазовых ресурсов. Превалирующее место занимает газовая отрасль, включающая в себя не только разработку новых месторождений или развитие технологий переработки газа, но и обеспечение стабильности газоснабжения [1]. Основным инструментом для поддержания вышеупомянутой стабильности являются подземные хранилища газа (ПХГ). Поддержание оптимального и, одновременно, безопасного геодинамического состояния (ГДС) на ПХГ требует тщательного учета и анализа множества показателей, начиная от параметров хранящегося газа и заканчивая состоянием технического оборудования [1].

ПХГ могут оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду и представлять опасность для расположенных рядом населенных пунктов и опасных промышленных объектов в случаях нарушения условий эксплуатации и недостаточно тщательного мониторинга происходящих геодинамических процессов [2].

Одним из значимых негативных процессов при строительстве и эксплуатации ПХГ являются возникающие при этом геодинамические изменения. Они обусловлены изменяющейся при строительстве геометрией недр, цикличностью смены режимов эксплуатации ПХГ – закачка и отбор газа, приводящие к большим амплитудам изменения давления. При закачке давление в ПХГ достигает нескольких десятков МПа, при отборе оно снижается до нескольких МПа.

Геодинамические процессы и возникающие как следствие негативные эффекты, не принятые во внимание или вовремя не обнаруженные в виду малоизученности данного направления, могут привести к авариям и катастрофам, в том числе разгерметизации хранилища.

Подход к управлению ГДС с использованием АИС позволяет обеспечить эффективное функционирование ПХГ, безопасность газового хранилища и окружающей среды, а также минимизировать риск возникновения аварий и катастроф [3]. На всех этапах этого подхода особое внимание уделяется комплексному структурированию геоданных в единой АИС.

Автоматизация процессов сбора и обработки геоданных позволяет проводить мониторинг в режиме реального времени и оптимизировать закачку и отбор газа в конкретный момент времени на основе имеющихся данных. Важным аспектом является возможность планирования и прогнозирования изменений параметров состояния ПХГ. Своевременное выявление потенциальных про-

блем, таких как снижение давления или утечка газа могут помочь предотвратить возможные негативные последствия [4].

Целью исследования является повышение геодинамической безопасности эксплуатации ПХГ за счет автоматизации идентификации ГДС и создания эффективной АИС геодинамического мониторинга (ГДМ) ПХГ с использованием сети сейсмических станций.

Эффективным способом идентификации состояния по множеству различных показателей является использование агрегированных моделей, а также разработка методики формализации процесса идентификации геодинамического состояния ПХГ и своевременного принятия решения о присваивании статуса аномальности геодинамическим состояниям объекта недропользования или его частям для формирования рекомендаций по изменению режима эксплуатации ПХГ.

Комплексная реализация методики в виде АИС идентификации ГДС ПХГ, включающая базу данных показателей ГДС ПХГ (свидетельство RU2025624558) с программой для ЭВМ экспертной оценки геодинамических параметров ПХГ, а также способ идентификации геодинамического состояния ПХГ по их эксплуатационным и геодинамическим параметрам. Важность данной разработки заключается в том, что она позволяет оперативно и эффективно отслеживать изменения в геологической среде и земной поверхности района ПХГ.

АИС ГДМ ПХГ включает в себя модуль автоматизированного сбора геоданных, систему управления базами геоданных (СУБГД), а также агрегированные модели идентификации ГДС.

Динамические геоданные получены с помощью различных датчиков, в том числе сети сейсмических станций, расположенных в территориальных зонах различной сейсмической активности вблизи эксплуатируемых ПХГ. Полученные геоданные аккумулируются в СУБГД, позволяющей не только упростить аудит геоданных, но и комплексно повысить безопасность всего ПХГ, способствовать раннему обнаружению аномалий, повысить контроль за исправностью технического состояния оборудования и снизить риск аварий. В последние годы всё чаще рассматриваются возможности интеграции структур обработки геоданных и СУБГД с системами управления газотранспортной сетью с целью упрощения взаимодействия между различными подразделениями газовой отрасли и обмена данными [5].

Работа разрабатываемой АИС обеспечивает эффективный анализ состояния геологической среды и позволяет на ранних этапах выявлять потенциальные угрозы. Для этого программный комплекс использует современные технологии обработки и визуализации информации, обеспечивая при этом высокую точность и надёжность вычислений.

Следует выделить основные требования для стабильного функционирования системы:

– возможность настройки контролируемых параметров в зависимости от объекта наблюдения (например, уровень деформаций, давление в пластах, сейсмическая активность, температурные изменения и др.);

– сохранение и экспорт результатов анализа в стандартные форматы пригодные для отчётности и дальнейшего исследования;

– аккумуляция получаемых геоданных от источников, имеющих различное территориальное расположение, посредством настройки удаленного доступа и механизмов передачи пакетов данных в сети.

Механизмы обработки геоданных, помимо базовых функций СУБД, должны иметь следующий функционал:

– проверять вводимые значения на корректность и соответствие ожидаемым диапазонам геоданных;

– исключать повторный ввод одинаковых или логически противоречивых геоданных;

– сохранять массивы геоданных с возможностью резервного копирования и восстановления [7].

Таким образом, комплекс требований к информационной системе направлен на обеспечение её стабильной, эффективной и гибкой работы в условиях мониторинга геодинамических процессов, что особенно важно для повышения безопасности и устойчивости функционирования ПХГ.

Особое значение в организации геоданных имеет нормирование – унификация разноразмерных значений, путём приведения к заданному интервалу. В зависимости от способа вычисления геодинамических параметров, имеет место применение различных методов нормирования.

Таблица 1 – Способы нормирования геоданных

Метод нормирования	Плюсы	Минусы	Частые области применения
1	2	3	4
Мин-Макс нормализация	Приводит данные к фиксированному диапазону (0–1)	Чувствительна к выбросам. Требует знать минимум и максимум заранее	Нейронные сети, визуализация, масштабирование
Z-нормализация	Учитывает среднее и разброс данных. Более устойчива к выбросам, чем мин-макс	Предполагает нормальное распределение данных. Может исказить данные с сильным сдвигом	Линейные модели, SVM, логистическая регрессия. Большинство алгоритмов маши
L2-нормализация	Сохраняет направление вектора. Уменьшает влияние длины вектора	Не подходит для признаков, где важна абсолютная величина.	Текстовые данные, кластеризация, поиск похожих объектов

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Робастная нормализация	Устойчива к выбросам	Не стандартизирует данные под нормальное распределение	Медицинские данные, биоинформатика, промышленные измерения

Применение Мин-Макс нормализации возможно для геоданных, изменяющихся по прямой или обратной линейной зависимости, Z-нормализация характерна для экспоненциально и гиперболически заданных значений геодинамических показателей, L2-нормализация наиболее удобна для обработки векторных и линейных параметров, робастная нормализация применяется в случаях обнаружения аномалии в выборке геоданных, чаще всего она используется совместно с одним из перечисленных выше способов нормирования. В соответствие с исследуемыми параметрами был разработан универсальный программный модуль, позволяющий унифицировать мультиформатные геоданные (рисунок 1).

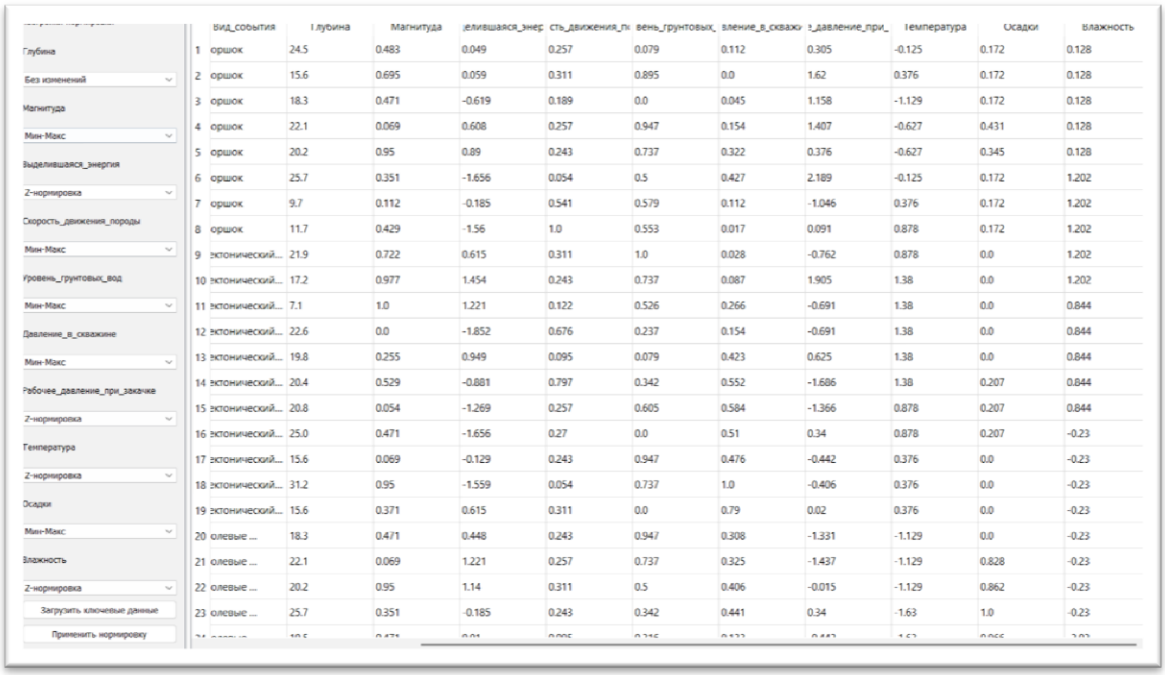


Рисунок 1 – Пример работы программного модуля СУБГД

Независимо от разрядности, все геоданные приводятся к интервалу от 0 до 1, однако возможны аномалии, при которых полученные значения превышают верхний порог и не подчиняются закону нормального распределения. Для корректного функционирования АИС ГДМ для таких значений проводится оценка значимости и поиск факторов корреляции, далее вычисляются побочные коэффициенты для приведения к интервалу от 0 до 1.

СУБГД ГДС ПХГ представляет собой сложную структурированную систему, предназначенную для обработки и анализа данных об изменениях в зем-

ной коре. Эффективность управления большими объемами геоданных напрямую коррелирует со сложностью организации СУБГД.

Проектирование структуры базы геоданных является одним из ключевых этапов при создании автоматизированной информационной системы параметров геодинамического состояния подземного хранилища газа. Архитектура СУБГД должна обеспечивать возможность лёгкого добавления новых типов данных, соответствующих новым еще неучтенным параметрам эксплуатации ПХГ или вмещающей геологической среды, и функциональных компонентов без нарушения работы существующей системы.

Начальный этап проектирования заключается в структурировании исходных данных. Для этого формируется пул экспертов, включающий специалистов в области геологии, геомеханики, гидродинамического моделирования и эксплуатации ПХГ. В ходе серии согласованных экспертных сессий проводится идентификация и классификация всех значимых параметров ГДС. Эти параметры разделяются на несколько взаимосвязанных блоков: технологические (текущее и пластовое давление, дебиты скважин, объем закачанного/отобранного газа и т.д.), конструкционные (данные о состоянии ствола скважины, обсадных колонн, керамических фильтров и т.д.) и геодинамические. Целью проведения экспертной оценки является выбор из множества потенциально значимых величин ключевого набора, который наиболее полно и с опережающим эффектом описывает состояние массива горных пород.

Подход к проектированию базы данных параметров состояния ПХГ, основанный на методах экспертной оценки, является итеративным и интерактивным процессом. Первым шагом работы экспертов является разбиение всех значимых исследуемых параметров, с использованием рангового метода, на три группы: основные базовые, косвенно влияющие и дополнительные (рисунок 2).

Основные базовые	**Косвенно влияющие**	**Дополнительные**
Пористость вмещающих пород	Глубина залегания эксплуатируемых пластов	Глубина до поверхности кристаллического фундамента
*Ранг тектонических нарушений?	Мощность эксплуатируемых пластов	Коэффициент сжимаемости пористого пространства
Скорость изменения давления(газа в ПХГ)	Площадь горного отвода	Коэффициент Пуассона
Пластовое давление	Плотность тектонических нарушений	Плотность сети пробуренных скважин
Количество зарегистрированных сейсмособытий (все, выше порогового выбранного значения)	Модуль сдвига	Скорость закачки газа
Суммарная выделившаяся сейсмическая энергия	Структура пластов	Скорость отбора газа
Величина деформации земной поверхности (закачка/отбор)	Обводнение (какие параметры конкретно)	…
Абсолютная амплитуда (проекция на горизонтальную плоскость вертикальной и горизонтальной составляющих движений)	Величины оттоков/перетоков (уточнить)	
…	…	

Рисунок 2 – Пример разбиения параметров на группы

В зависимости от степени значимости каждого показателя с использованием метода непосредственной оценки формируются весовые коэффициенты для каждого показателя. Они будут использоваться при подсчете агрегированных моделей.

База данных параметров геодинамического мониторинга включает в себя несколько таблиц, каждая из которых отвечает за хранение определенного вида геодинамических параметров, таких как сейсмические, геодезические, гравиметрические, гидрогеологические, метеорологические и т.д.

К основным первичным сейсмическим параметрам относятся координаты, глубина очага события, магнитуда и выделившаяся энергия. После сбора достаточного объема данных выполняется анализ сейсмического режима и вычисляются вторичные параметры, характеризующие сейсмический режим ПХГ и его динамику. Геодезические показатели включают в себя всевозможные смещения, записанные в виде изменения координат по осям x, y, z, а также наклоны и деформации, описанные аналогичным способом, с указанием угла отклонения. Гравиметрические показатели представлены силой тяжести в эпицентре события, склонностью пород к движению и видом пород. Гидрогеологическими параметрами являются значения, описывающие зоны обводнения, гидрогеологические воронки при закачке и отборе газа, рабочее давление пласта (давление в скважинах) и уровень грунтовых вод. К общим метеорологическим относятся влажность, температура и осадки.

Также имеются две категории сопутствующих параметров. Одной из них является организация обработки, где указываются сведения об организации, осуществляющей наблюдения, достоверности полученных геоданных и возникающих ошибках наблюдений. В другой категории представлена информация об используемом оборудовании: типы датчиков и сейсморегистраторов, частота измерений и другие технические параметры. На схеме ниже представлена структура базы показателей геоданных (рисунок 3). Слева отображены таблицы сопутствующих параметров, дополнительно описывающих произошедшее сейсмособытие. Справа отображены таблицы основных геодинамических параметров, которые непосредственно идентифицируют класс и значимость события.

Перечисленные параметры образуют структуру аддитивной агрегированной модели. В ее основе лежит способ идентификации ГДС ПХГ с использованием агрегированного показателя. Он вычисляется как сумма произведений весовых коэффициентов и нормированных значений геодинамических показателей. Вычисления проводятся поэтапно, сначала для каждого продуктивного пласта ПХГ, а после для всего ПХГ целиком. В результате вычислений, значение агрегированного показателя позволяет определить геодинамический класс ПХГ и сформировать предписания для обеспечения его дальнейшего безопасного использования.

Рисунок 3 – Структура базы геоданных показателей геодинамического мониторинга

В результате проектирования автоматизированной информационной системы для оценки геодинамического состояния подземных хранилищ был создан комплекс аппаратных и программных решений, позволяющих с использованием сети сейсмических станций повысить геодинамическую безопасность эксплуатации ПХГ, защищенных охранными документами интеллектуальной собственности.

Список литературы

1 Адушкин, В.В. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная / В.В. Адушкин, С.Б. Турунтаев. – М.: ИДГ РАН, 2015. – 364 с.

2 ГОСТ Р 53239-2008. Хранилища природных газов подземные. Правила мониторинга при создании и эксплуатации. – Москва: Стандартинформ, 2009.

3 Кузьмин, Ю.О. Индуцированные сейсмические процессы на месторождениях нефти и газа / Ю.О. Кузьмин // Проблемы недропользования. – 2019. – № 4. – С. 9-16.

4 Габсатаров, Ю.В. Геодинамический мониторинг в ФИЦ ЕГС РАН: современное состояние и перспективы развития / Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова, И.А. Сдельникова // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 7-23.

5 Тищенко, И.В. Контроль качества сейсмических данных – проблемы и решения / И.В. Тищенко, А.И. Тищенко, А.А. Жуков // Технологии сейсморазведки. – 2008. – №3. – С. 68-77.

6 Владов, Ю.Р. Повышение геодинамической безопасности разрабатываемых месторождений углеводородов нефтегазоносного бассейна / Ю.Р. Владов, М.Ю. Нестеренко, Ю.М. Нестеренко, А.Ю. Владова // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 7. – С. 31-37.

7 Шашкин, А.Г. Основы геотехнического мониторинга / А.Г. Шашкин // Инженерные изыскания. – №10-11/2013. – С. 18-21.

8 Владов, Ю.Р. Агрегированные модели и автоматизированная идентификация технического состояния энергонапряженных промышленных объектов: научно-методические рекомендации / Ю.Р. Владов, А.Ю. Владова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 57 с.

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ХИМИЧЕСКОЙ ПАССИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Шмыкова Л.Н., Шерстобитова В.Н., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к коррозионной стойкости металлических деталей, что делает процесс химической пассивации важным этапом производственного цикла. Пассивация представляет собой создание на поверхности металла тонкой защитной плёнки, препятствующей окислению. Однако эффективность этого процесса напрямую зависит от строгого соблюдения температурных режимов, концентрации химических реагентов и времени выдержки изделий в ваннах.

Традиционно на многих предприятиях данные операции выполняются с высокой долей ручного труда, что ведёт к нестабильности качества и повышенному расходу дорогостоящих химикатов. В условиях цифровизации промышленности актуальной задачей является разработка и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ), способных обеспечить прецизионный контроль параметров в реальном времени.

Целью данной работы является повышение коррозийной стойкости изделия за счёт внедрения автоматизированных систем управления.

Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– анализ и выбор оборудования;

– выбрать аппаратные средства для измерения физико-химических параметров раствора.

Проектирование автоматизированной системы управления (АСУ) линией химической пассивации требует создания многоуровневой архитектуры, обеспечивающей сбор технологических данных, их обработку и формирование управляющих воздействий в режиме реального времени.

Основная цель автоматизации заключается в формировании технологического режима, который обеспечивал бы повторяемость качественных характеристик защитного слоя при минимальном участии человека.

Линия химической пассивации функционирует как дискретно-непрерывный процесс, где изделия проходят через каскад ванн с различными химическими реагентами.

Главным компонентом системы является программируемый логический контроллер (ПЛК) промышленного класса (например, ОВЕН ПЛК-210 или высокопроизводительные решения серии Siemens S7), способный обрабатывать сотни сигналов в реальном времени.

Анализ оборудования, необходимого для технологического процесса пассивации представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ оборудования системы автоматизации

Вид оборудования	Производитель	Техническое описание / Назначение	Тип / Серия
Программируемый логический контроллер	ОВЕН	Центральный узел управления, поддержка Modbus TCP и МЭК 60870-5-104	ПЛК-210-01
Промышленный контроллер	Siemens S7	Высокопроизводительный ПЛК для управления сложными циклограммами перемещения	SIMATIC S7-1500
Термопреобразователь	ОВЕН	Платиновый датчик Pt100, выход 4-20 мА, исполнение в фторопластовой гильзе	ДТС125Л (кл. А)
Измеритель проводимости	Endress+Hauser	Индуктивный датчик для контроля концентрации пассивирующих растворов	Smartec CLD134
Ультразвуковой уровнемер	ОВЕН	Бесконтактный контроль уровня в ваннах с химически агрессивной средой	ПВУ-10
Промышленный коммутатор	Huawei	Управляемый коммутатор L3 с поддержкой RSTP для резервирования каналов	Cloud Engine S5731-S
Модуль аналогового вывода	ОВЕН	Преобразование цифровых команд ПЛК в сигналы 4-20 мА для управления задвижками	МУ210-502

Особое внимание в работе уделено информационной связности компонентов системы. Для передачи телеметрической информации выбран стек протоколов TCP/IP с прикладным уровнем Modbus TCP или МЭК 60870-5-104. Данные протоколы обеспечивают детерминированность передачи данных, что важно для процессов, чувствительных к задержкам.

Важнейшей частью АСУТП является подсистема Historian (архиватор). Все параметры процесса: температура в каждой ванне, время выдержки каждой партии, химический состав записываются в реляционную базу данных с временной меткой. Это формирует «цифровой паспорт» на каждую партию изделий. В случае обнаружения дефектов на этапе эксплуатации готовых машин, инженер-технолог может провести ретроспективный анализ и выявить откло-

нения режима, произошедшие в момент производства конкретной детали, что соответствует требованиям стандартов качества серии ISO 9001.

Завершающим элементом системы является модуль предиктивной аналитики. На основе анализа наработки моточасов и динамики изменения потребляемых токов исполнительных механизмов, система заранее информирует персонал о необходимости проведения технического обслуживания, переходя от стратегии аварийных ремонтов к стратегии обслуживания по состоянию.

Внедрение описанной многоуровневой системы автоматизации позволяет трансформировать линию химической пассивации из потенциально опасного и нестабильного участка в высокотехнологичный производственный модуль. Достигнутая точность контроля параметров и надёжность сетевой инфраструктуры гарантируют стабильно высокое качество защитных покрытий, снижают операционные затраты и обеспечивают экологическую безопасность предприятия.

Реализация предложенной системы автоматизации линии химической пассивации позволяет достичь следующих результатов:

– повышение качества: исключение брака, связанного с нарушением временных и температурных интервалов процесса;

– снижение расхода химических реагентов на 10 % –15 % за счёт их точного дозирования и контроля концентрации;

– уменьшение времени пребывания персонала в зоне действия агрессивных паров химических веществ.

В дальнейшем планируется разработать алгоритм управления технологической линии химической пассивации металлических изделий.

Список литературы

1 Иванов, А. В. Автоматизация технологических процессов в гальваническом производстве / А. В. Иванов, С. П. Петров. – СПБ.: Политех–Пресс, 2023. – 186 с. – ISBN 978-5-907597-45-3.

2 Ковалёв, Д. Ю. Современные методы пассивации металлов: технологии и оборудование / Д. Ю. Ковалёв // Вестник машиностроения. – 2024. – № 5. – С. 42–48. – DOI: 10.12345/vestmash.2024.05.007.

3 Кузнецова, Е. А. Роботизированные системы для обработки поверхностей в химической промышленности / Е. А. Кузнецова, В. И. Морозов // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 8. – С. 22–27.

4 Михайлов, С. Г. Цифровизация производственных линий: интеграция PLC и SCADA-систем / С. Г. Михайлов. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 212 с. – ISBN 978-5-907479.

5 Сидорова, М. В. Экологические аспекты химической пассивации металлов / М. В. Сидорова // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 56–61. – DOI: 10.12345/ecoprom.2023.04.009.

6 Федотова, Л. Н. Сенсорные системы контроля качества покрытий в автоматизированных линиях / Л. Н. Федотова, А. Р. Шаповалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2024. – № 3. – С. 15–21.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНОГО МЕТОДА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Шумилин В.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современных условиях жесткой рыночной конкуренции и растущих требований к качеству продукции предприятия вынуждены постоянно искать пути повышения операционной эффективности, сокращения издержек и уменьшения времени выполнения заказов. Одним из наиболее эффективных инструментов для достижения этих целей является внедрение поточного производства, базирующегося на принципах бережливого производства. Поточное производство предполагает организацию непрерывного, синхронизированного и однонаправленного движения заготовок и деталей через последовательность технологических операций с минимальными межоперационными заделами и простоями оборудования.

Традиционная для многих машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий партионная (цеховая) организация производственного процесса характеризуется наличием функциональных участков (токарный, фрезерный, сверлильный цеха), между которыми детали перемещаются сложными маршрутами, накапливаясь в ожидании обработки. Это приводит к значительным производственным циклам, высоким объемам незавершенного производства, затруднениям в управлении и «узким местам». Внедрение поточных линий, ориентированных на выпуск конкретной номенклатуры деталей или семейства технологически схожих изделий, позволяет кардинально изменить ситуацию.

Ключевыми принципами построения поточного производства в металлообработке являются:

1) Специализация и синхронизация. Оборудование и рабочие места располагаются в строгой последовательности технологического процесса для конкретного изделия или группы изделий. Производительность операций стремится к выравниванию (балансировке линии).

2) Непрерывность движения. Деталь передается с одной операции на следующую немедленно после окончания обработки, часто с использованием механизированных транспортных систем (рольганги, конвейеры, тележки) или по принципу «вытягивания».

3) Стандартизация операций. Каждая операция имеет четко определенное стандартное время выполнения, что является основой для балансировки и планирования.

4) Минимизация переналадок. Применяются методы быстрой переналадки оборудования для эффективного перехода между выпуском разных деталей в рамках одной линии.

Внедрение поточного производства требует комплексного подхода, включающего анализ текущего состояния, проектирование будущего потока, реорганизацию производственных площадей и обучение персонала.

Пример внедрения поточного производства на предприятии по производству котельного оборудования

В качестве практического примера рассмотрим опыт внедрения поточной линии по сборки паровых котлов на предприятии, специализирующемся на выпуске блочно-модульных котельных. До реорганизации процесс сборки котлов был организован по принципу стационарной обработки на одном участке, где начало сборки следующего изделия было возможно только после полного завершения предыдущего. Данный тип организации постовой сборки приводит к значительному увеличению производственного цикла и формированию «узких мест», что негативно сказывается на общей производительности и пропускной способности участка. Общий цикл изготовления партии котлов из 10 штук составлял 500 часов при высоком уровне межоперационных заделов.

Целью проекта было создание компактной поточной линии для сокращения цикла и незавершенного производства. Работы проводились в несколько этапов:

1. Анализ и расчеты. Были зафиксированы все операции, измерено их штучное время, определены требуемые ресурсы.

2. Проектирование линии. Была спроектирована поточная линия, в которую вошли участки: вальцовочный, сборки обечаек, сборки корпуса, сварочный, сборки каркаса, окончательной сборки. Такая компоновка сократила маршруты перемещения.

3. Моделирование. Была создана детализированная имитационная модель будущей поточной линии в программной среде AnyLogic. Использование имитационного моделирования позволило провести виртуальную отладку производственного процесса, провести анализ его сбалансированности для выявления узких мест и скорректировать выявленные в ходе моделирования ошибки в организации потоков и расстановке оборудования.

4. Внедрение и отладка. Оборудование было перемещено согласно новой схеме. Внедрена система визуального управления (канбан) и стандартные операционные карты. Персонал прошел обучение.

Результаты внедрения представлены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы, переход на поточные методы позволил достичь существенного улучшения по ключевым метрикам, но требует больше производственных площадей. Экономический эффект от внедрения, рассчитанный как снижение себестоимости за счет уменьшения складских издержек, ускорения оборачиваемости и роста производительности, составил около 19 млн рублей в год. Формула для расчета сокращения цикла изготовления ($T_ц$) после балансировки может быть представлена в виде:

$$T_ц = \sum_{i=1}^{n} t_i + (n-1) \cdot t_{пер}, \quad (1)$$

где t_i – время i-й операции после оптимизации, n – количество операций, $t_{пер}$ – время межоперационной передачи (стремится к нулю в идеальном потоке).

Таблица 1 – Сравнительные показатели до и после внедрения поточной линии

Показатель	До внедрения (партионная система)	После внедрения (поточная линия)	Изменение, %
Производственный цикл, часы	500	280	-44
Объем незавершенного производства, нормо-час	320	40	-87,5
Производительность труда, шт./чел.-день	3,6	8,2	+127,8
Занимаемая производственная площадь, кв. м	400	950	+137

Визуализация реорганизации производственного пространства представлена на рисунке 1.

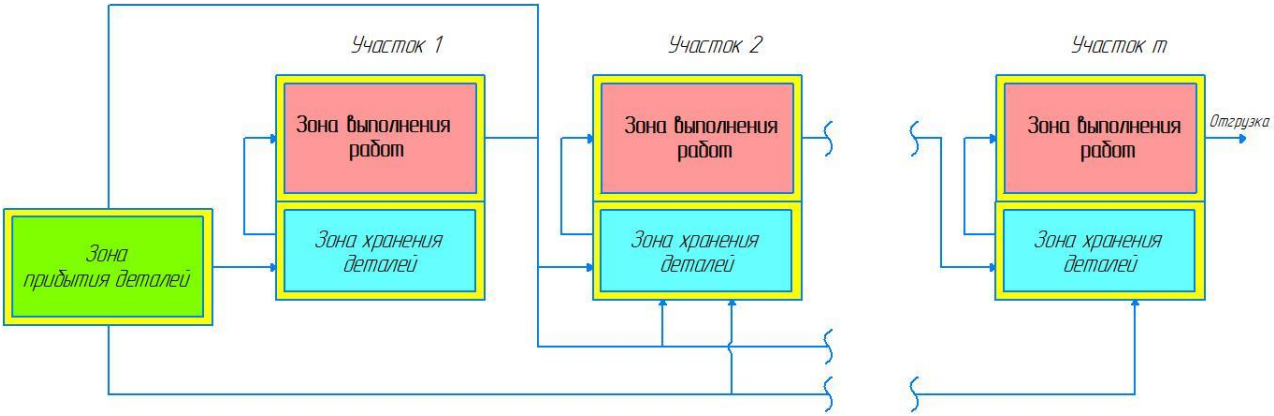


Рисунок 1 – Схема поточной линии

Таким образом, опыт данного предприятия наглядно демонстрирует, что внедрение поточного производства в металлообработке является действенным инструментом повышения конкурентоспособности. Несмотря на первоначальные затраты и организационные сложности, достигаемый эффект в виде многократного ускорения оборачиваемости, высвобождения капитала, замороженного в запасах, и роста гибкости производства полностью оправдывает инвестиции в реорганизацию. Дальнейшим направлением развития является цифровизация таких линий, внедрение систем MES (Manufacturing Execution System) для мониторинга в реальном времени и предиктивной аналитики, что позволяет со-

здавать «умные» поточные производства, адаптивные к изменениям рыночного спроса.

Список литературы

1 Вумек, Дж.П. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс Вумек, Дэниел Джонс ; Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 472 с.

2 Кармишин, А.А. Цифровая подготовка производства в машиностроении / А.А. Кармишин. – URL: https://ritm-magazine.com/ru/public/cifrovaya-podgotovka-proizvodstva-v-mashinostroenii

3 Хахина, О.В. Организация проточного производства: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / О.В. Хахина; Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2020. – 39 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛЬТА-РОБОТОМ В ЗАДАЧЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ

Юсупов М.Е., Проскурин Д.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Дельта-роботы получили широкое распространение в задачах высокоскоростной укладки, сортировки и перемещения продукции благодаря высокой жёсткости конструкции, малой подвижной массе и значительному быстродействию. Для обеспечения требуемой точности и динамических характеристик таких систем необходимо корректное и устойчивое вычисление угловых скоростей приводов на основе заданных траекторий движения рабочего органа.

В рамках данной работы рассматривается дельта-робот с тремя степенями свободы поступательного движения подвижной платформы. Положения рабочего органа задаётся в декартовой системе координат вектором:

$$p_\vartheta(t) = \begin{pmatrix} X_\vartheta(t) \\ Y_\vartheta(t) \\ Z_\vartheta(t) \end{pmatrix},$$

где $X_\vartheta(t), Y_\vartheta(t), Z_\vartheta(t)$ – координаты характерной точки подвижной платформы.

Приводные звенья робота приводятся в движение независимыми электроприводами, характеризуемыми угловыми координатами:

$$\theta(t) = \begin{pmatrix} \theta_1(t) \\ \theta_2(t) \\ \theta_3(t) \end{pmatrix}.$$

Основной задачей дифференциальной кинематики является определения угловых скоростей приводов:

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}.$$

При заданной линейной скорости подвижной платформы:

$$v_\vartheta(t) = \frac{dv_\vartheta(t)}{dt}.$$

Таким образом, требуется установить зависимость между вектором линейных скоростей рабочего органа и вектором угловых скоростей приводов в виде:

$$\omega(t) = g\big(p_\vartheta(t), v_\vartheta(t)\big),$$

которая может быть получена различными методами дифференциальной кинематики.

В условиях систем управления реального времени особое значение приобретает форма представления данной зависимости, поскольку вычислительная сложность, устойчивость численного расчёта и возможность дальнейшего анализа существенно влияют на качество функционирования системы управления. В связи с этим в дальнейшем рассматриваются и сравниваются три основных подхода к расчёту угловых скоростей приводов дельта-робота.

Аналитический метод расчёта угловых скоростей приводов дельта-робота основан на дифференцировании уравнений обратной кинематики по времени. При наличии аналитически заданных функций положения приводных звеньев данный подход позволяет получить прямую зависимость между линейными скоростями рабочего органа и угловыми скоростями приводов. Пусть угловые координаты приводов выражены через координаты подвижной платформы в виде:

$$\theta_i(t) = f_i\big(X_\vartheta(t), Y_\vartheta(t), Z_\vartheta(t)\big),$$

где i = 1, 2, 3.

Тогда угловая скорость i -го привода определяется как полная производная по времени:

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta_i(t)}{dt}.$$

Применяя правило дифференцирования сложной функции, получим:

$$\omega_i(t) = \frac{\partial f_i}{\partial X_\vartheta}\frac{dX_\vartheta}{dt} + \frac{\partial f_i}{\partial Y_\vartheta}\frac{dY_\vartheta}{dt} + \frac{\partial f_i}{\partial Z_\vartheta}\frac{dZ_\vartheta}{dt}.$$

Таким образом, для каждого привода угловая скорость может быть представлена в линейной форме:

$$\omega_i(t) = s_{i1}(t)v_{\vartheta X}(t) + s_{i2}(t)v_{\vartheta Y}(t) + s_{i3}(t)v_{\vartheta Z}(t),$$

где $v_{\vartheta X}(t), v_{\vartheta Y}(t), v_{\vartheta Z}(t)$ – составляющие линейной скорости подвижной платформы по осям X, Y, Z соответственно, а коэффициенты $s_{ij}(t)$ определяется

частными производными функций положения и зависят от текущего положения рабочего органа.

Полученные выражения позволяют напрямую вычислять угловые скорости приводов на основе заданной скорости движения подвижной платформы. Однако практическая реализация данного метода связана с необходимостью получения громоздких аналитических выражений для коэффициентов $s_{ij}(t)$, которые, как правило, включают корни, тригонометрические функции и сложные комбинации геометрических параметров механизма.

С точки зрения систем управления реального времени данный подход обладает рядом ограничений. Во-первых, вычисление сложных аналитических выражений может привести к увеличению времени цикла управления. Во-вторых, усложняется анализ устойчивости и чувствительности системы при приближении к особым положениям механизма. В то же время аналитический метод позволяет получить явную форму зависимости скоростей, что делает его полезным при теоретическом анализе и верификации кинематических моделей.

Геометрический метод расчёта скоростей, известный также как метод планов скоростей, основан на векторном представлении движения звеньев механизма и использовании геометрических соотношений между скоростями характерных точек. В классическом виде данный метод широко применяется при анализе плоских механизмов, однако он может быть обобщён и на пространственные механизмы, в том числе на дельта-роботы.

В основе метода лежит построение векторов линейных скоростей характерных точек механизма в выбранной системе координат. Для дельта-робота в качестве таких точек рассматриваются точки соединения приводных звеньев с подвижной платформой, а также характерные точки самих звеньев. Линейная скорость подвижной платформы считается известной по заданной траектории движения рабочего органа.

Скорость точки, принадлежащей вращающемуся звену, направлена по касательной к траектории её движения и перпендикулярна соответствующему звену. Используя данное свойство, для каждого приводного звена можно определить направление вектора скорости и связать его с угловой скоростью вращения привода. В пространственном случае это приводит к необходимости рассмотрения пересечения прямых и плоскостей в пространстве скоростей.

Вектор скорости точки подвижной платформы представляется в виде суммы её проекций на оси координат, после чего данные проекции переносятся в плоскость или пространство скоростей. Далее, с учётом геометрических ограничений механизма, определяется направление и величина скорости характерной точки приводного звена. Полученная линейная скорость позволяет вычислить угловую скорость привода по соотношению:

$$\omega_i = \frac{v_{L_i}}{R_i},$$

где v_{L_i} – линейная скорость характерной точки приводного звена, а R_i – расстояние от оси вращения привода до данной точки.

Основным преимуществом геометрического метода является его наглядность и возможность интуитивного анализа кинематических соотношений без получения громоздких аналитических выражений. Метод позволяет визуально интерпретировать взаимосвязь скоростей и может быть полезен при исследовании отдельных положений механизма и в образовательных целях.

В то же время практическое применение метода планов скоростей в системах управления реального времени ограничено. Для каждого положения механизма требуется выполнять последовательность геометрических построений, что затрудняет автоматизацию вычислений и снижает эффективность при реализации в программируемых логических контроллерах. Кроме того, метод слабо масштабируется при необходимости учёта ускорений и анализа особых кинематических положений.

Таким образом, геометрический метод расчёта скоростей позволяет наглядно установить взаимосвязь между линейным движением подвижной платформы и угловыми скоростями приводов дельта-робота без использования сложных аналитических выражений. Однако ориентация метода на графо-геометрические построения и необходимость индивидуального анализа каждого положения механизма существенно ограничивают его применение в системах управления реального времени. В связи с этим данный подход целесообразно рассматривать преимущественно как вспомогательный инструмент для анализа кинематики и в образовательных целях, тогда как для автоматизированных вычислений в промышленных системах требуется более формализованный метод.

Матричный метод расчёта скоростей приводов дельта-робота основан на использовании якобиана механизма, который формализует взаимосвязь между линейными скоростями подвижной платформы и угловыми скоростями приводных звеньев. Данный подход является наиболее универсальным и широко применяется при синтезе и анализе систем управления роботами.

Исходя из уравнений обратной кинематики, связывающих координаты рабочего органа и угловые координаты приводов, зависимость между скоростями может быть представлена в дифференциальной форме. В общем виде она записывается как:

$$J(p_v)\omega = v_\vartheta,$$

где $J(p_v)$ – матрица Якоби, зависящая от текущего положения подвижной платформы;

ω – вектор угловых скоростей приводов;

v_ϑ – вектор линейных скоростей рабочего органа.

Для дельта-робота якобиан формируется на основе геометрических соотношений между скоростями характерных точек приводных звеньев и подвижной платформы. В отличие от аналитического метода, данный подход не требу-

ет явного дифференцирования громоздких выражений для угловых координат, а сводит задачу к решению системы линейных алгебраических уравнений.

При условии невырожденности матрицы Якоби угловые скорости приводов определяются как:

$$\omega = J^{-1}(p_v)v_\vartheta.$$

Существенным преимуществом матричного метода является его компактная форма и удобство реализации в программных средствах управления движением. Все вычисления сводятся к операциям линейной алгебры, что облегчает реализацию алгоритма в системах реального времени и позволяет эффективно использовать его в циклических вычислениях на программируемых логических контроллерах.

Кроме того, использование якобиана предоставляет дополнительные возможности анализа кинематических свойств механизма. По структуре и детерминанту матрицы Якоби могут быть выявлены особые положения механизма, в которых нарушается однозначность связи между скоростями рабочего органа и приводов. Это позволяет заранее учитывать ограничения рабочей области и повышать устойчивость системы управления.

В отличие от геометрического метода, матричный подход легко масштабируется при необходимости учёта ускорений, динамических характеристик и силовых воздействий, что делает его базой для построения более сложных моделей управления движением дельта-робота.

Рассмотренные в работе аналитический, геометрический и матричный методы расчёта угловых скоростей приводов дельта-робота обеспечивают эквивалентные результаты при корректном задании геометрических параметров механизма и отсутствии численных погрешностей. Однако при практической реализации в системах управления реального времени данные подходы существенно различаются по вычислительной сложности, степени формализации и удобству использования в промышленных условиях.

Аналитический метод, основанный на дифференцировании функций обратной кинематики, позволяет получить явные выражения для угловых скоростей приводов и обладает высокой точностью при теоретическом анализе. В то же время данный подход приводит к появлению громоздких выражений, содержащих тригонометрические функции и корни, что усложняет программную реализацию и может увеличивать время вычислений в цикле управления. Кроме того, анализ кинематических особенностей механизма при использовании аналитического метода требует дополнительных процедур, не вытекающих напрямую из полученных выражений.

Геометрический метод расчёта скоростей отличается наглядностью и интуитивной интерпретацией взаимосвязи между линейным движением подвижной платформы и вращением приводных звеньев. Его использование позволяет визуально оценивать кинематические соотношения и характер движения механизма, что делает данный подход полезным при анализе отдельных положений

и в образовательных целях. Однако ориентация метода на графо-геометрические построения существенно ограничивает возможности его автоматизации. Необходимость выполнения последовательных геометрических операций для каждого положения механизма затрудняет применение данного подхода в системах управления реального времени и снижает его масштабируемость при усложнении модели.

Матричный метод расчёта скоростей, основанный на использовании якобиана дельта-робота, обеспечивает наиболее формализованное и компактное представление кинематических соотношений. Приведение задачи к решению системы линейных уравнений позволяет реализовать расчёт угловых скоростей приводов с предсказуемыми вычислительными затратами, что является ключевым требованием для систем реального времени. Дополнительным преимуществом матричного подхода является возможность анализа особых кинематических положений механизма на основе свойств матрицы Якоби, что позволяет учитывать ограничения рабочей области и повышать устойчивость системы управления.

С точки зрения расширяемости математической модели матричный метод обладает наибольшей универсальностью. Он легко адаптируется для расчёта ускорений, динамических характеристик и силовых воздействий, что делает его удобной основой для построения более сложных алгоритмов управления движением дельта-робота. В совокупности это позволяет сделать вывод о целесообразности применения матричного метода в качестве базового при разработке и внедрении систем управления дельта-роботами для высокоскоростных технологических процессов, тогда как аналитический и геометрический методы целесообразно использовать в качестве вспомогательных инструментов для анализа и верификации кинематических моделей.

В работе выполнен сравнительный анализ аналитического, геометрического и матричного методов расчёта угловых скоростей приводов дельта-робота, показавший эквивалентность получаемых результатов при корректной постановке задачи и различие методов по вычислительной сложности и удобству практической реализации. Установлено, что аналитический и геометрический подходы целесообразны преимущественно для теоретического анализа и верификации кинематических моделей, тогда как матричный метод на основе якобиана является наиболее предпочтительным для систем управления реального времени благодаря компактности математического описания, предсказуемым вычислительным затратам и возможности анализа кинематических особенностей механизма. Полученные выводы подтверждают целесообразность применения матричного подхода при разработке и внедрении высокоскоростных систем управления дельта-роботами в промышленной автоматизации.

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 вестинк НГТУ. – 2018. – Т. 70, № 1. – С. 103-116.

3 Корнилов, И. Робот на пищевом производстве: возможности и перспективы / И. Корнилов // Control Enginnering 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 Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / Г.А. Тимофеев. – Москва: Издательство Юрайт, 2014. – 429 с.

6 Тывес, Л.И. Механизмы робототехники. Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений / Л.И. Тывес. – Москва: Ленанд. – 2018. – 204 с.